

UCM. Master en Tecnologías de la Información Geográfica

# Búsqueda de Recursos Energéticos Mediante GIS en Galicia.

Proyecto Final

*Autor: Auxo A. Lorenzo Carnota*

*Tutor: Javier Gutiérrez Puebla*

15/06/2011

# Contenidos

1. Introducción.....	4
2. Fuentes y Metodología.....	5
i) Fuentes.....	5
ii) Metodología.....	6
a) Generación de Factores.....	6
b) Normalización de Factores.....	7
c) Restricciones.....	7
d) Asignación de Pesos.....	7
e) Integración Multicriterio.....	7
f) Reclasificación de las capas de capacidad de Acogida realizadas con SLP.....	8
g) Determinar el trazado de mayor capacidad (solo Energía Eólica).....	8
h) Generar el Mapa mostrando el mejor tipo de Energía en cada ubicación.....	8
3. Resultados.....	9
i) Energía Eólica.....	9
a) Generación de Factores y Normalización.....	9
c) Restricciones.....	16
d) Asignación de Pesos.....	19
e) Integración Multicriterio.....	20
f) Reclasificación de las capas de capacidad de Acogida realizadas con SLP.....	21
g) Determinar el trazado de mayor capacidad (solo Energía Eólica).....	22
ii) Cultivos para la generación de Biodiesel.....	23
a) Generación de Factores y Normalización.....	25

c) Restricciones.....	27
d) Asignación de Pesos.....	31
e) Integración Multicriterio.....	31
f) Reclasificación de las capas de capacidad de Acogida realizadas con SLP.....	32
iii) Energía Solar Fotovoltaica.....	33
a) Generación de Factores y Normalización.....	33
c) Restricciones.....	35
d) Asignación de Pesos.....	36
e) Integración Multicriterio.....	36
f) Reclasificación de las capas de capacidad de Acogida realizadas con SLP.....	37
4. Tipo de Energía en función de la ubicación.....	39
i) Mapa de Energía Recomendada en función de la ubicación.....	40
5. Conclusiones.....	41
6. Bibliografía.....	43

## 1. Introducción.

Actualmente nos encontramos en una sociedad tecnológica que demanda gran cantidad de Energía. La mayoría de esta Energía proviene de combustibles fósiles, dicha Energía no es renovable ya que no tiene sustitución una vez agotadas y además provoca problemas medioambientales derivados de su explotación. Al ritmo actual de consumo se estima que los combustibles fósiles duraran unos pocos cientos de años. La energía nuclear es igualmente no renovable y además generan residuos de difícil eliminación debido al largo periodo de radioactividad que poseen.

Debido a estos problemas hemos asistido en los últimos años al auge de las energías renovables, que son inagotables y limpias. Estas tienen la ventaja de complementarse ya que la energía solar puede suministrar energía los días soleados (generalmente con poco viento debido al anticiclón) mientras que los días fríos y ventosos son los aerogeneradores los que pueden producir energía.

En este trabajo se han evaluado diferentes factores y restricciones para conseguir el mejor posicionamiento posible, para instalar un parque eólico, un parque de energía solar o examinar cuales son las mejores zonas para cultivar plantas que generen biodiesel.

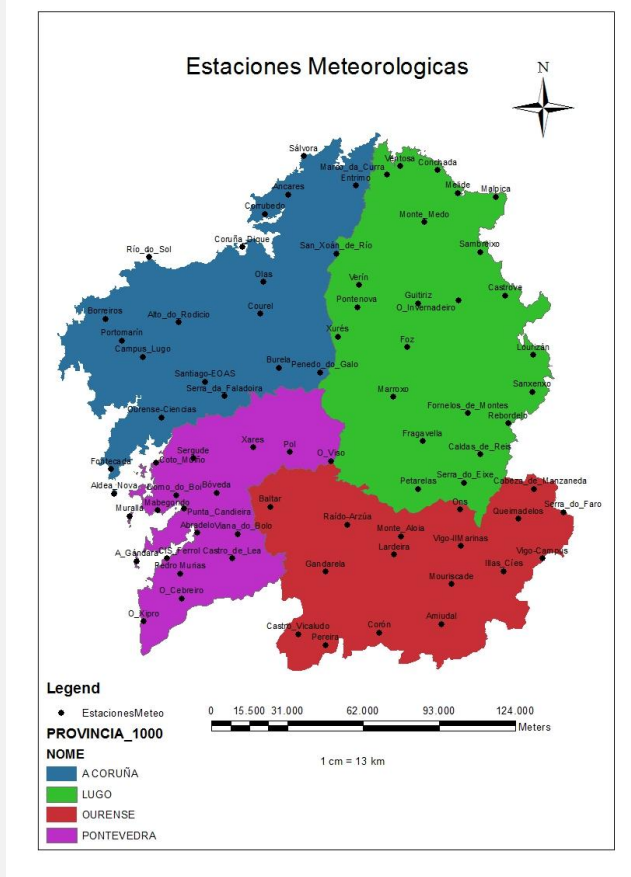
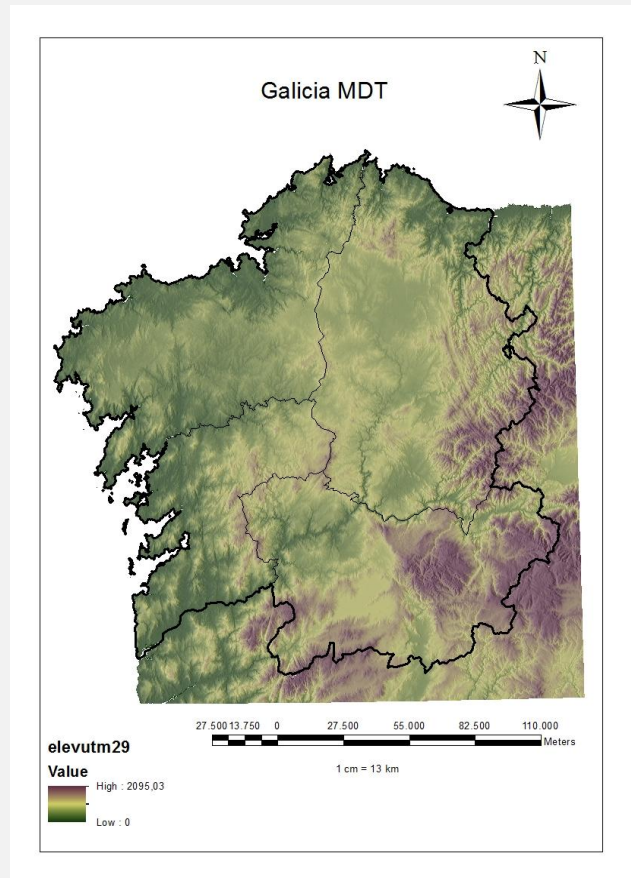
Una vez evaluadas las zonas óptimas para la generación de Energía, se ha intentado obtener un mapa global en el que se muestre cual es la Energía más adecuada para cada ubicación, en función del rendimiento que se puede obtener de cada una de ellas (información publicada en “Las Energías Renovables en Galicia” del INEGA (Instituto Energético de Galicia)).

## 2. Fuentes y Metodología.

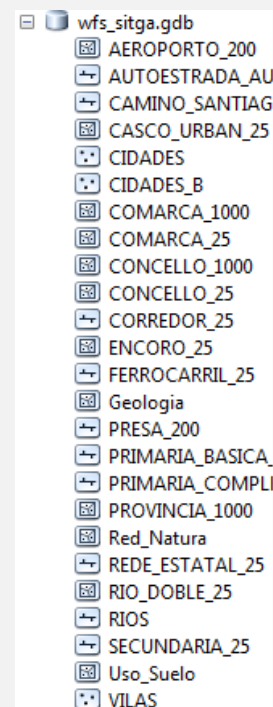
i) Como principales **Fuentes** de datos se han utilizado un modelo digital del terreno de la comunidad, además de datos meteorológicos y capas proporcionadas por el SITGA (Servicio de Información territorial de Galicia).

El modelo digital del terreno utilizado, fue el realizado por la NASA en la SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), en donde se obtuvieron los modelos digitales de elevación a escala mundial a una resolución de 90x90m.

Los datos meteorológicos pertenecen a la red de estaciones meteorológicas de MeteoGalicia. A continuación, se muestra un mapa con la ubicación de las diferentes estaciones meteorológicas. Esta capa de estaciones tiene asociada una base de datos con los valores anuales y mensuales del año 2009 de cada estación de las siguientes variables: Velocidad del viento, Temperatura Media, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima, Lluvia ( $l/m^2$ ) e Irradiación ( $10KJ/(m^2 \cdot dia)$ ).



Aparte hemos dispuesto de una Geodatabase del SITGA que contiene capas en formato shape con información digitalizada de Galicia. Se muestra una captura de pantalla en donde aparece el contenido de la Geodatabase.



ii) La **Metodología** para determinar las ubicaciones óptimas para la instalación de Energías Renovables es la siguiente: (Dicha Metodología se ha realizado de la misma manera para los tres tipos de Energía).

#### a) Generación de Factores.

Los Factores son aspectos que aumentan o disminuyen la valoración de una alternativa como solución al problema, pueden ser cuantitativos u cualitativos. Se han realizado de tal manera que fueran correlacionados positivamente con la capacidad de instalación de un determinado tipo de Energía. En cada apartado de cada tipo de Energía se irá explicando porque se introduce cada factor y cuál es la manera de generarlo. Una problemática general al generar factores se produce cuando generamos uno que dependa de la distancia, ya que podemos querer que el factor tome valores mínimos a distancias grandes. Para resolverlo debemos usar una función de transformación que se implementa fácilmente con **Raster Calculator**, simplemente se mira el valor máximo de la capa que dependa de la distancia y ese valor se le resta a esa misma capa, esta transformación la llamaremos **ajuste opuesto**.

#### b) Normalización de los Factores.

Una vez obtenidos los factores se normaliza, debido a que las capas pueden tener rangos muy diversos y no comparables entre sí. Los factores se normalizan con la ecuación:

$$f_i = \left[ \frac{(v_i - v_{min})}{(v_{max} - v_{min})} \right] * c$$

En donde:

$V_i$  – Son los diferentes valores que presente el raster en los diferentes píxeles. En **Raster Calculator** aquí se introduce el raster que queremos normalizar.

$V_{min}$  – Es el valor mínimo del raster que vamos a normalizar

$V_{max}$  – Es el valor máximo del raster a normalizar

$c$  – Es el rango de estandarización. Si introducimos el valor  $c=100$ , el raster normalizado saldrá con un valor máximo de 100 y un valor mínimo de 0.

Dicha ecuación se implementa fácilmente con **Raster Calculator**.

#### c) Restricciones.

Las restricciones son criterios que limitan la posibilidad de considerar alguna alternativa, excluyéndolas de forma definitiva. Estas son siempre capas booleanas. Se generan con la herramienta **Raster Calculator o con Reclassify**. Se han realizado de manera que el valor 1 represente las zonas no excluyentes y el 0 las excluyentes, aunque esta última clase se han reclasificado con **NoData** para solo mostrar las no Excluyentes.

#### d) Asignación de pesos a cada factor.

En este paso se asigna un peso a cada factor en función de la importancia que tiene a la hora de generar capacidad para la instalación de un tipo de Energía. En los apartados de los diferentes tipos de Energías se explica que peso se le da a cada factor y porque.

#### e) Integración Multicriterio.

Una vez realizados los apartados anteriores, tenemos todas las condiciones para realizar un Análisis Multicriterio. En este trabajo se ha utilizado la Suma Lineal Ponderada, en la cual se multiplica cada factor ya normalizado por su correspondiente peso, y posteriormente se suman los resultados. Estos serán multiplicados por el producto de las restricciones, definiendo las aéreas excluidas del análisis.

$$a = \sum x_i w_i * \prod r_j$$

$a$  es el valor de Capacidad de acogida para parque eólico

$x_i$  es el valor de la celda  $i$  en el factor  $i$

$w_i$  es el peso del factor  $i$

$r_j$  son las restricciones

Esta ecuación se implementa muy fácilmente en la herramienta **Raster Calculator**. Simplemente multiplicamos cada capa de factores por sus respectivos pesos y las sumamos. Una vez obtenida esta nueva capa, la multiplicamos por las capas booleanas de las restricciones. Así, obtenemos la capa de capacidad de acogida con SLP.

8

#### **f) Reclasificación de las capas de capacidad de Acogida realizadas con SLP.**

Las capas obtenidas de Capacidad mediante el Análisis Multicriterio toman valores cuantitativos entre 0 y 100, estas se han reclasificado cualitativamente mediante la herramienta **Reclassify** en: - Zonas Sin Capacidad (Zonas en donde se encuentra alguna restricción), - Capacidad Baja (Valores cuantitativos < 50), - Capacidad Media (50<Valores cuantitativos<70), - Capacidad Alta (Valores cuantitativos>70). En el mapa de capacidad de acogida para el Biodiesel la reclasificación ha variado ligeramente ya que el valor máximo alcanzado era 77 por lo que las clases han quedado - Capacidad Baja (Valores cuantitativos < 40), - Capacidad Media (40<Valores cuantitativos<60), - Capacidad Alta (Valores cuantitativos>60)

#### **g) Determinar el trazado de mayor capacidad (solo Energía Eólica).**

Este apartado se ha realizado únicamente para la Energía Eólica ya que es la única que es una instalación lineal. Aquí, se ha generado una capa de puntos para indicar el inicio y el final de la instalación, con ello y con las herramientas **Cost Path** y **Cost Back Link** se ha generado el trazado. La realización de este apartado se describe minuciosamente dentro de los Resultados.

#### **h) Generar el Mapa mostrando el mejor tipo de Energía en cada ubicación.**

A partir de la publicación “Las Energías Renovables en Galicia” del INEGA, se han extraído datos para conocer cuál es la Energía con más peso en Galicia, con ello hemos hecho una reclasificación de las Capacidades Altas y Bajas de los tres tipos de Energía y se le ha asignado un peso mediante la herramienta **Reclassify**, a posteriori la herramienta **Cell Statics** nos permite introducir las ultimas reclasificaciones y sacar un nuevo mapa con los valores máximos.



### 3. Resultados

#### i) Energía Eólica.

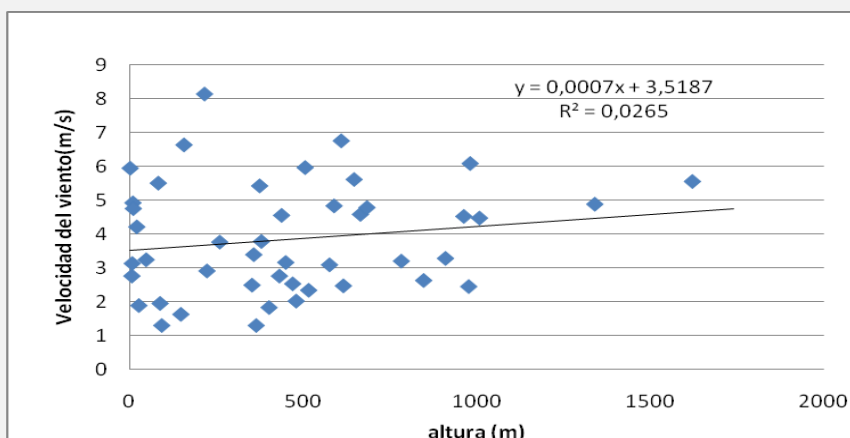


La energía eólica tiene una procedencia directa de la energía solar. Está producida por el calentamiento diferencial del Sol en los mares, valles y montañas, lo que provoca diferentes niveles de calentamiento y presión en la atmósfera. El desplazamiento del aire tiende a eliminar estos desequilibrios de presión, produciendo así el viento.

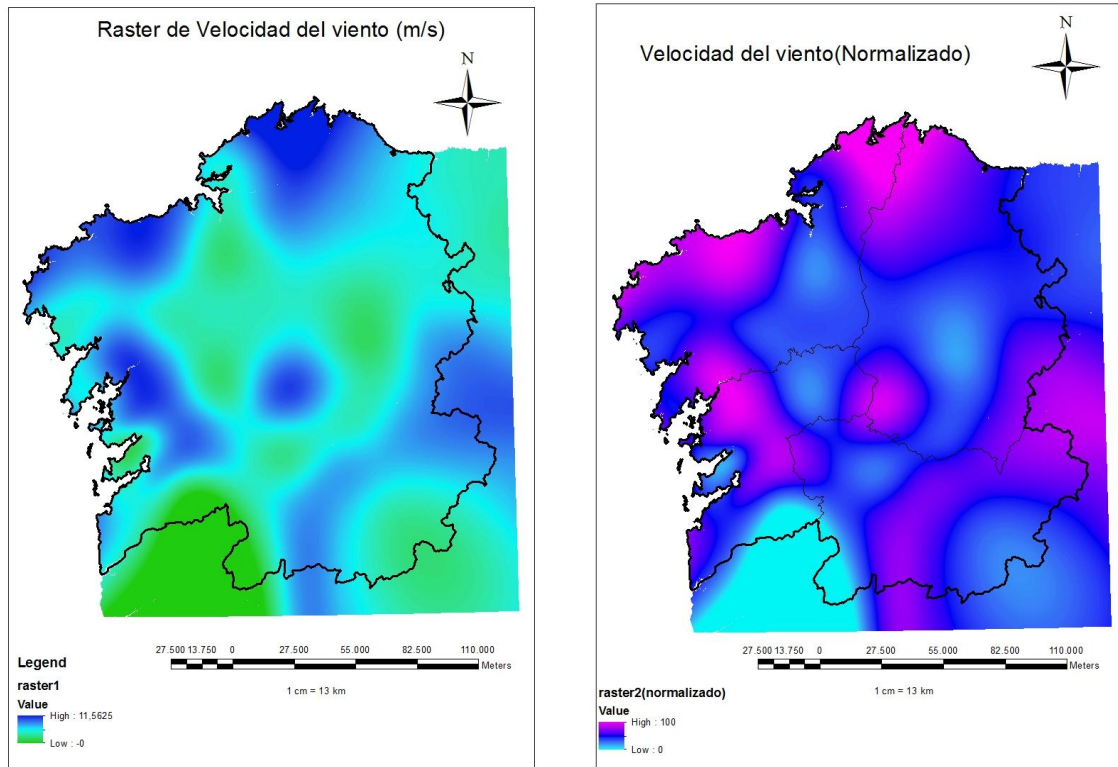
9

El aprovechamiento de la energía cinética del viento se realiza mediante el empleo de aerogeneradores, que la transforman en energía útil, y que pueden instalarse de forma individual o colectiva, denominándose en este último caso "Parque Eólico".

a) Para analizar la energía eólica, uno de los **FACTORES** más importante es la velocidad del viento, con los datos de las estaciones, hemos realizado una interpolación con la herramienta **Interpolate Spline** para conocer los datos para toda Galicia. Hemos considerado que a mayor altitud puede existir mayor velocidad de viento, por lo que hemos ajustado altitud frente a velocidad, para determinar la relación entre ambas variables. El resultado ha sido el siguiente:



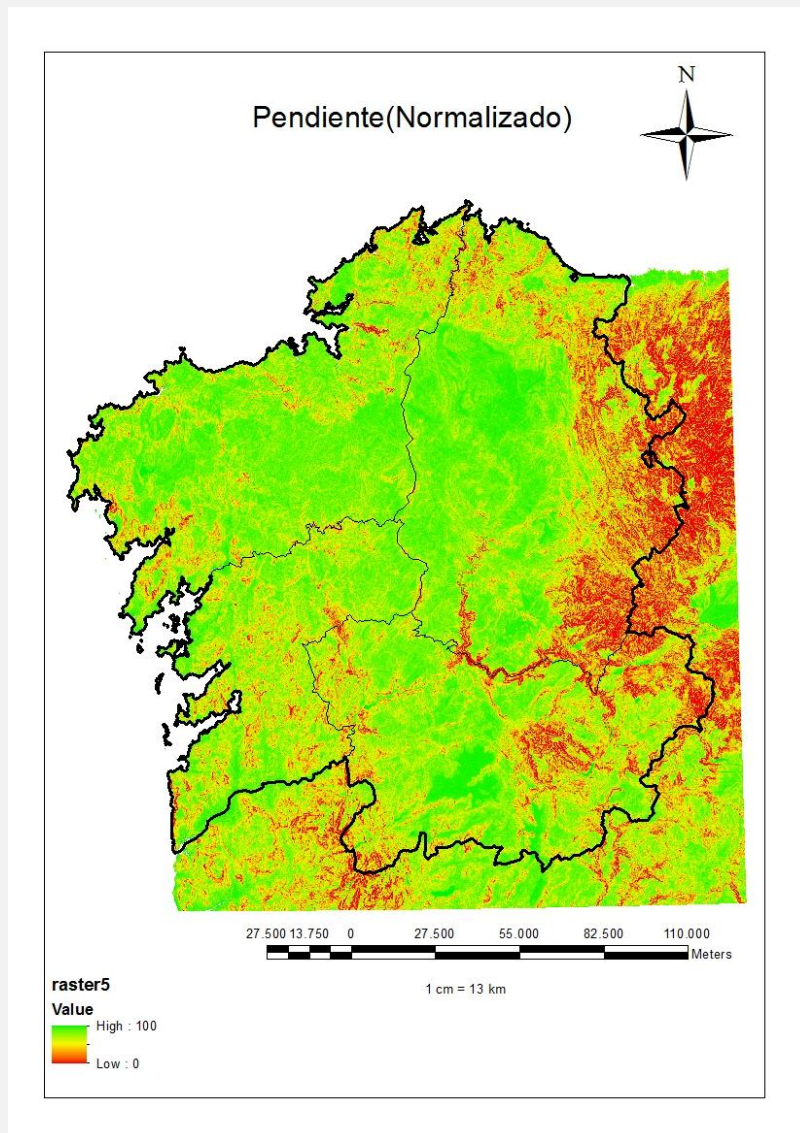
Como se puede ver en la gráfica, obtenemos un ajuste bastante bajo ya que el índice  $R^2=0.0265$ . Este ajuste puede resultar aproximado para zonas altas pero en zonas de costa resulta pobre, ya que dicha velocidad depende muchas veces de la geografía. Por lo tanto, hemos desechado este ajuste y nos quedamos con el Raster de velocidades realizado con la **Interpolación Spline**, que exponemos a continuación:



Se muestra el raster de velocidad del viento en m/s para poder observar las velocidades alcanzadas , tambien aparece normalizado.

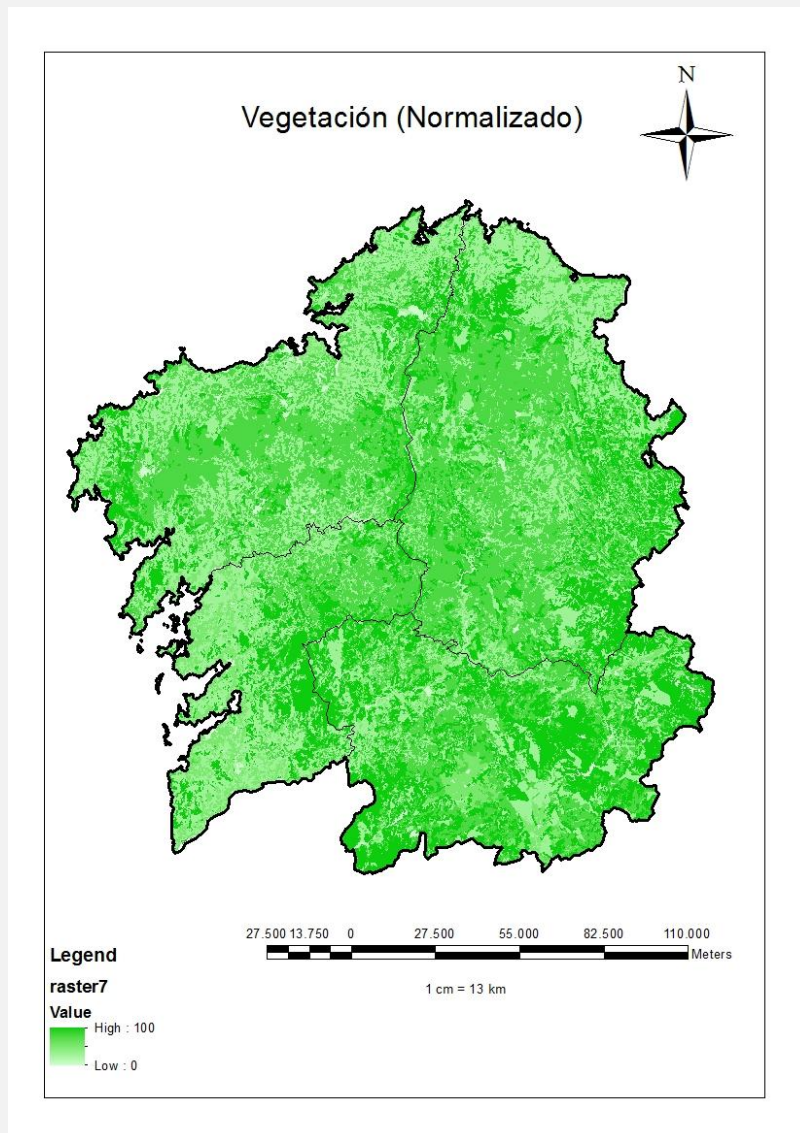
Ahora, pasamos a exponer el resto de factores, tratando de incluir el máximo número de ellos. A continuación se detallan.

Pendiente, para valorar su incidencia, se delimita como espacio optimo aquel que tiene una pendiente inferior al 10%, al considerar que estas zonas son aptas para la mayoría de los usos. El límite superior estaría en pendientes mayores al 40% en donde no sería posible ningún uso con la excepción del forestal. Este criterio también es importante para evaluar la superficie afectada por los aerogeneradores y su repercusión sobre el desencadenamiento de procesos erosivos. Dicho Raster lo hemos obtenido aplicando la herramienta **Slope** al mdt.

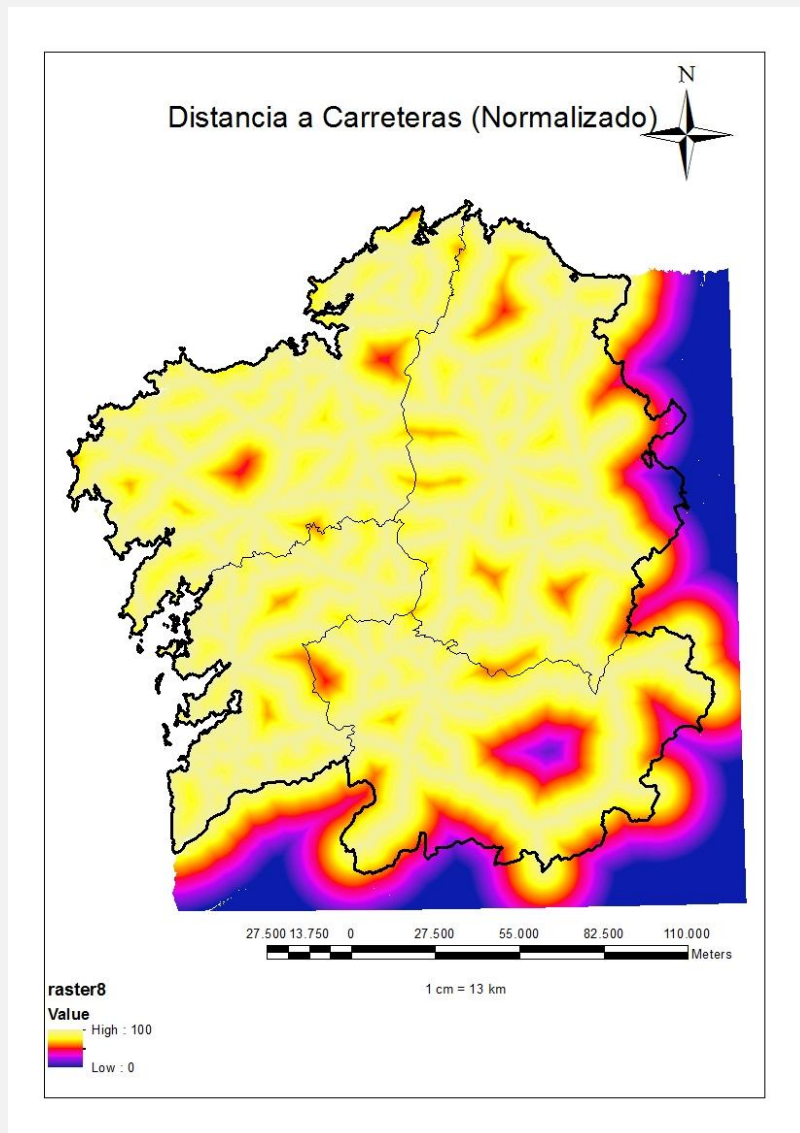


El Raster presentado aparece normalizado. Los valores máximos son para zonas de valles mientras los valores mínimos para zonas de pendientes pronunciadas.

Otro factor que merece ser señalado como importante es la Calidad de la Vegetación. Para realizarla, cabe mencionar que disponíamos de una capa de usos del suelo vectorial de Galicia, que estaba contenida en la Geodatabase del SITGA, con la herramienta **Polygon to Raster** la hemos pasado a raster. La capa del indicador de calidad de vegetación la hemos efectuado mediante la herramienta **Reclassify**, con la que hemos realizado 4 clases, asignándole el valor 4 a las zonas de matorral, y el valor mínimo a los bosques de Eucalipto, Pinos y Caducifolias. Entremedias, hemos dejado en orden descendente, Zonas Ganaderas, Zonas Agrícolas.

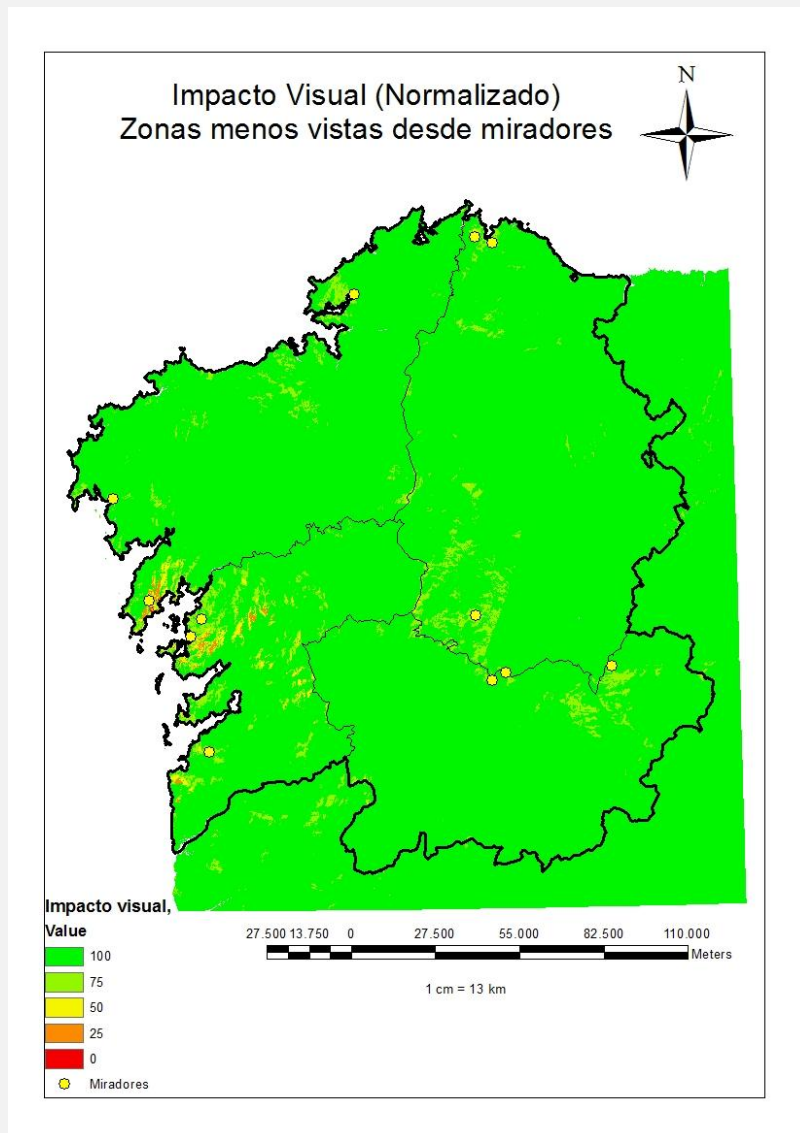


La accesibilidad es también un dato de importancia para la construcción y el mantenimiento de un parque eólico. En consecuencia, hemos dispuesto un factor que es la distancia a una carretera nacional o autonómica. Este factor como depende de la distancia se le ha realizado el ajuste opuesto para que a ubicaciones cercanas a las carreteras tome el valor máximo.

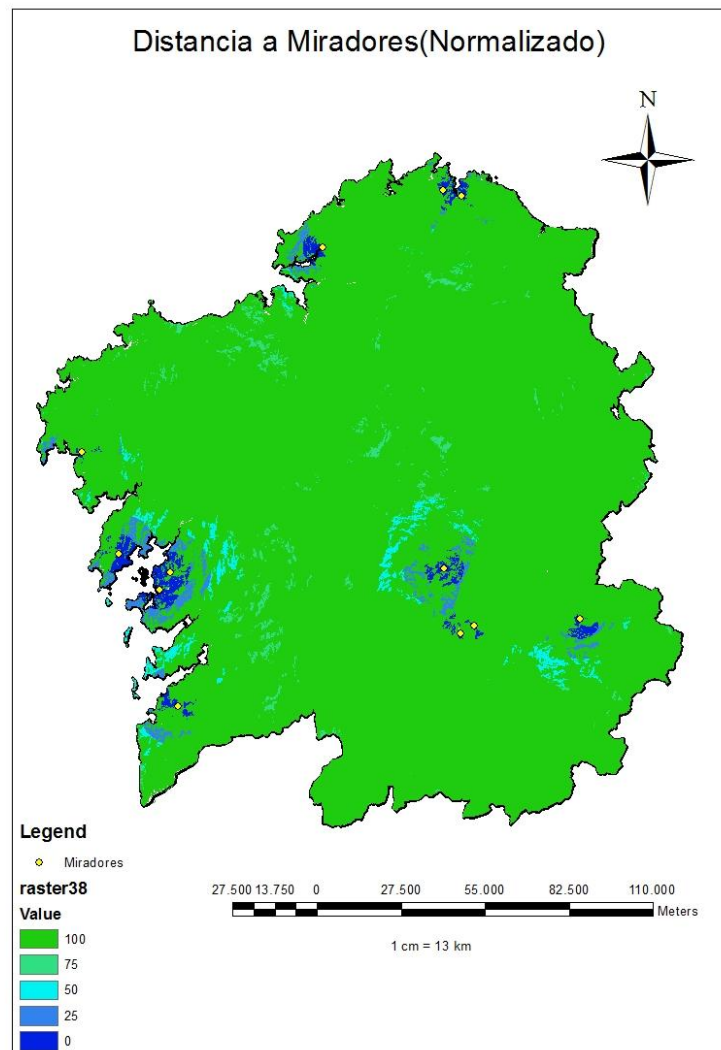


Y ya para finalizar, el último factor que se impone es el de Impacto Visual Mínimo. Para realizarlo hemos digitalizado varios puntos donde se encuentran miradores, se han analizado cuales son las zonas que menos se ven desde dichas situaciones y la distancia a las zonas que se ven. Primero, con la función **Viewshed** hemos cuantificado las zonas que se pueden ver desde varios miradores y se ha normalizado, así dicho factor es máximo en aquellas zonas que no se ven desde ningún mirador, y es mínimo en aquellas zonas vistas desde varios miradores. En nuestro caso han existido zonas que se veían desde 4 miradores diferentes. Como los factores van en orden creciente a la capacidad para instalar un parque eólico, estos últimos lugares descritos llevan el valor mínimo.

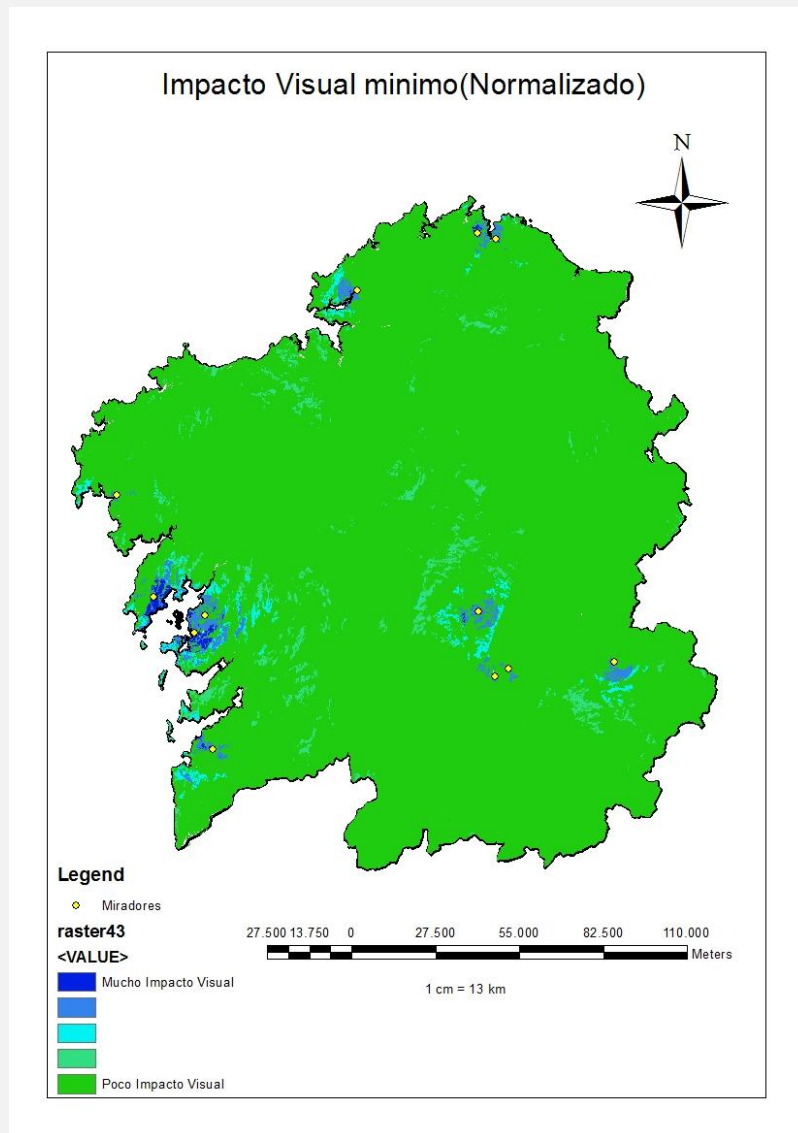




Además como el impacto visual es inversamente proporcional a la distancia, hemos realizado una capa raster con distancias a los miradores mediante la herramienta **Euclidean Distance**, a la vez se ha reclasificado la capa realizada con la función **Viewshed**, dándole valor 0 a las zonas que no se ven desde los miradores y el valor 1 a las que sí. Estas dos capas se han multiplicado para conocer la distancia a las zonas visibles, este raster se ha reclasificado y normalizado. Como estamos midiendo la capacidad de lugares para admitir un parque eólico, será máximo para las distancias más alejadas de los miradores y las zonas no vistas, y mínimas para la más cercana a los miradores.



Estas dos capas obtenidas y presentadas anteriormente se han unificado en una, ponderando ambos factores y haciendo una suma lineal ponderada. Se le ha asignado un peso un poco mayor a la primera capa para darle mayor importancia a las zonas que se ven desde más de un mirador, es decir un 0,6 y a la segunda un 0,4. La capa final de Impacto Visual Mínimo es la siguiente.

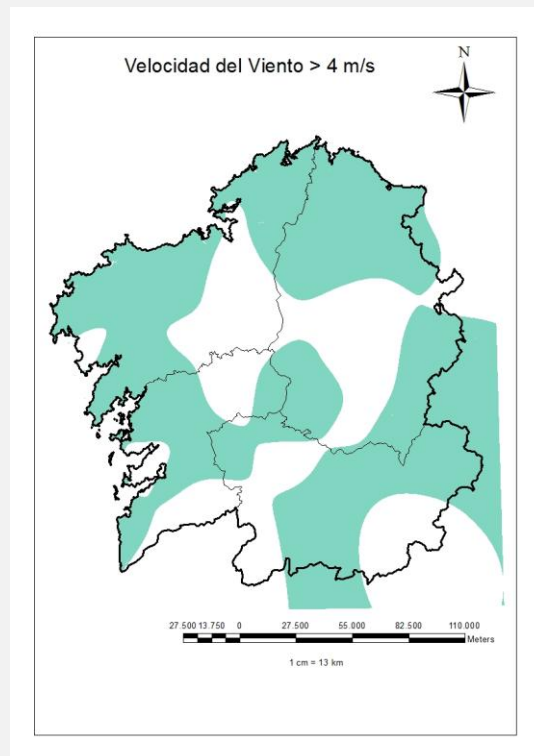


c) A continuación, se detallan las **RESTRICCIONES**. Son las siguientes:

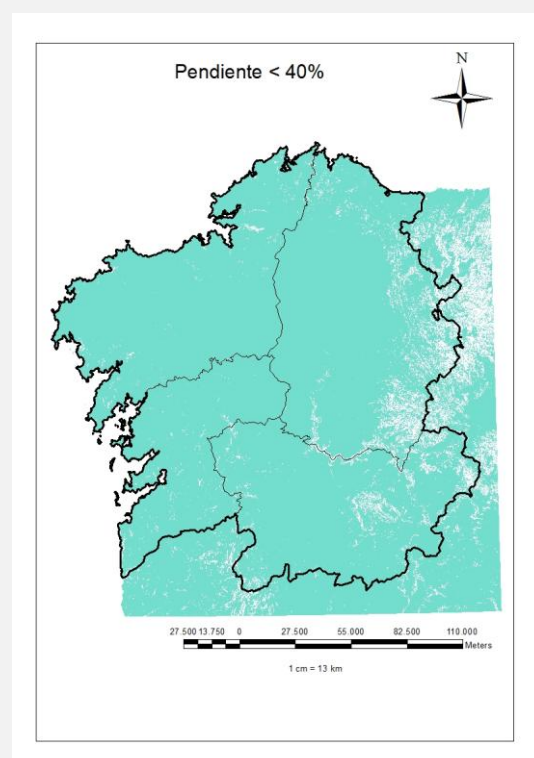
Todas las capas de restricciones las hemos obtenido mediante consultas con la herramienta **Raster Calculator**. Después de esto, dichas capas se han reclasificado de manera que se ha dado el valor 1 a las zonas no restringidas y el valor NoData al resto.

La primera y además muy importante, es que un parque es rentable si la velocidad mínima anual media es de 4m/s. Por lo cual generamos una capa booleana con dicha condición.

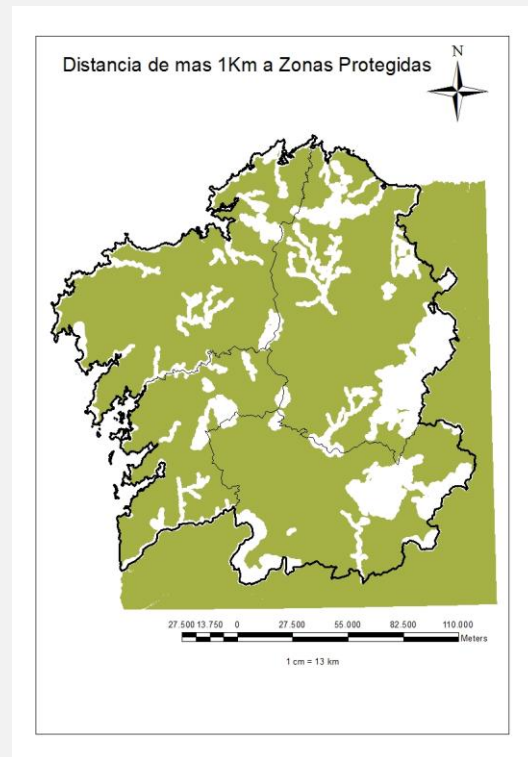




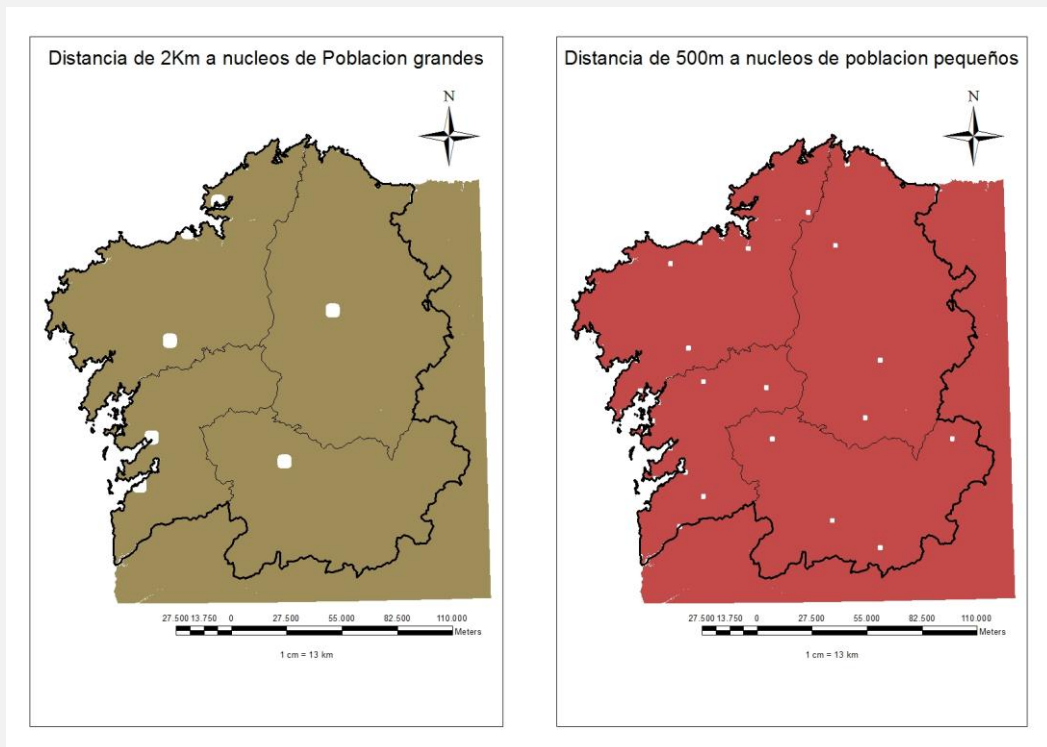
Otra restricción a tener en cuenta es la de pendientes menores del 40%, de la que ya hablamos anteriormente en los factores.



Cabe también señalar, que otra restricción necesaria a imponer es la distancia a áreas de especial valor ecológico. En este caso hemos realizado un **Euclidean Distance** de 1Km a dichos espacios y se ha impuesto como restricción.



Para poner fin al grupo de las restricciones, hemos integrado un factor de planeamiento, realizando una restricción de 2Km a núcleos grandes y de 500m a núcleos pequeños.



d) Finalizado esto, pasamos a **ASIGNAR LOS PESOS DE CADA FACTOR**, en función de la importancia de cada uno a la hora de instalar un parque eólico.

Factores	Indicador	Peso
Relieve	Pendiente	0.22
Variables Meteorológicas	Velocidad del viento	0.30
Vegetación	Calidad de la vegetación	0.12
Accesibilidad	Distancia a Carreteras	0.24
	Impacto Visual Mínimo	0.12

El mayor peso, como cabía esperar, se le asigna a la velocidad del viento, ya que sin una velocidad mínima de éste, el parque no sería rentable. Luego, le hemos asignado un peso medio a la pendiente y a la distancia a la carretera. La pendiente es fundamental debido a que zonas con muy altas pendientes dificultarían la instalación de los aerogeneradores, además del mantenimiento del parque. También son importantes las zonas con poca pendiente, ya que en estas zonas se generan corredores de aire, en los cuales el aire no es frenado por fricción con la superficie (valles o zonas de cotas de montaña). La distancia a carreteras es importante para el debido mantenimiento de las instalaciones y su construcción. Por último, hemos asignado un peso menor a la vegetación y al impacto visual. A la vegetación debido a

que las bases de los aerogeneradores ocupan una superficie pequeña lo cual no obliga a eliminar la vegetación en superficie, e incluso se podría seguir utilizando como zonas de cultivos si se diera el caso. Al impacto visual también le he dado un valor menor debido a las altas pretensiones energéticas del país pesan más que tener zonas de alto valor paisajístico.

e) Una vez llegado a este punto ya tenemos todas las condiciones para realizar un **ANÁLISIS MULTICRITERIO**. En este trabajo hemos utilizado el **Método Multicriterio Compensatorio**, en el cual se multiplica cada factor ya normalizado por su correspondiente peso, y posteriormente se suman los resultados. Estos serán multiplicados por el producto de las restricciones, definiendo las aéreas excluidas del análisis.

$$a = \sum x_i w_i * \prod r_j$$

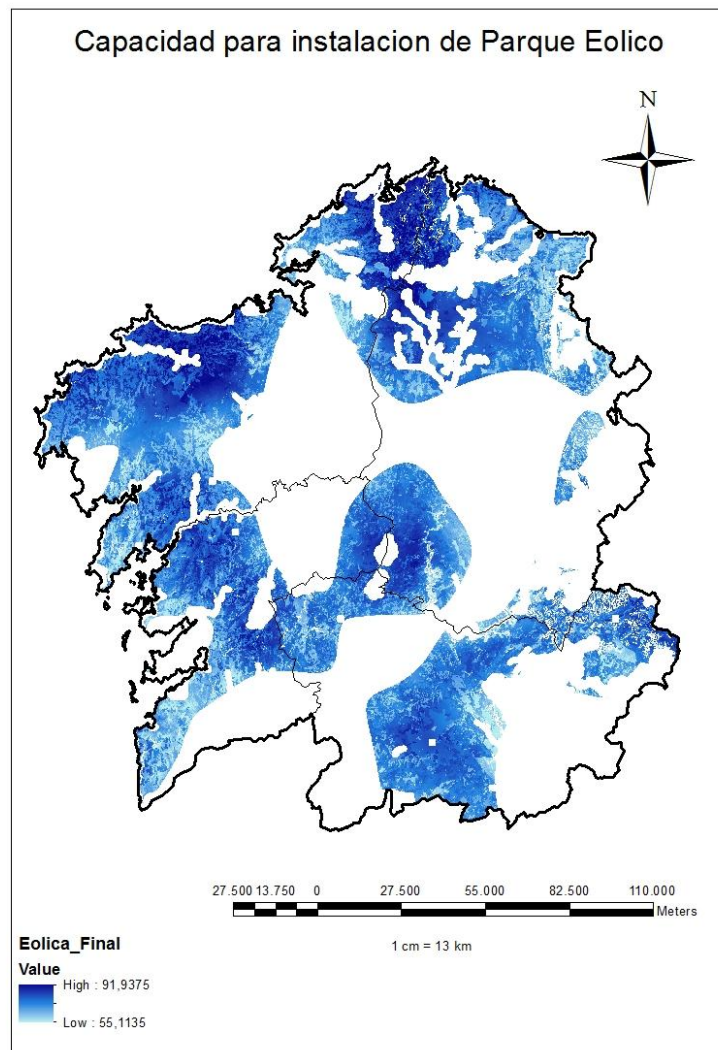
$a$  es el valor de Capacidad de acogida para parque eólico

$x_i$  es el valor de la celda  $i$  en el factor  $i$

$w_i$  es el peso del factor  $i$

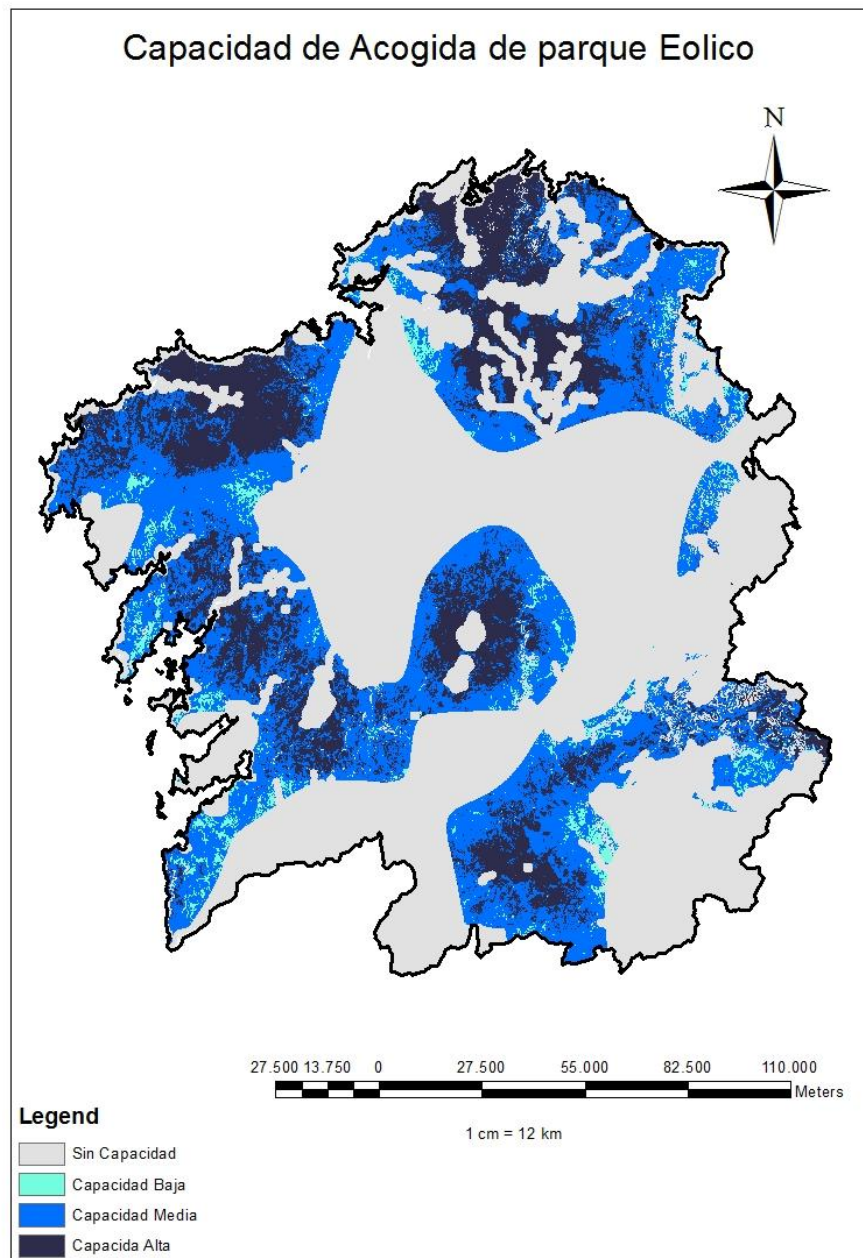
$r_j$  son las restricciones

La capa final que indica la capacitación de un cierto terreno para instalar un parque eólico es el siguiente.



Como podemos observar en dicho mapa, existen 4 zonas que alcanzan valores muy altos los cuales son los siguientes: Zona Norte de Galicia (en los alrededores del cabo Ortegal), NO de Galicia (Costa da Morte), Zona de Rías Bajas y en el Interior de la comunidad.

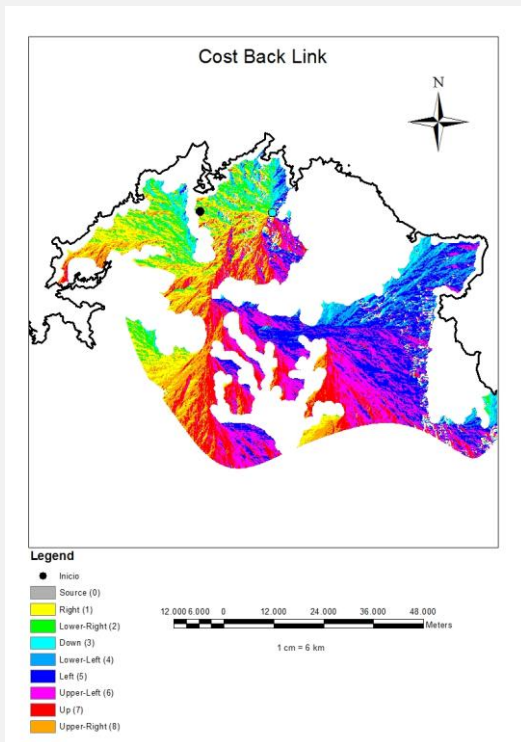
f) Una vez obtenido este Raster se ha reclasificado en función de sus valores máximos y mínimos para obtener una **clasificación por capacidades**.



g) Para finalizar con este apartado, hemos intentado calcular **el trazado de mayor capacidad para la instalación de un parque eólico** en la Costa Norte de Galicia, la cual es uno de los mejores emplazamientos para dicha Energía. Debemos de tener en cuenta para ello que la dirección de viento predominante en Galicia es en dirección Norte o Nordeste, por ello los aerogeneradores se deben de colocar alineados de Este a Oeste. Por lo tanto hemos realizado una capa con dos puntos, uno hacia el Este y otro hacia el Oeste de la costa Norte Gallega, los cuales van

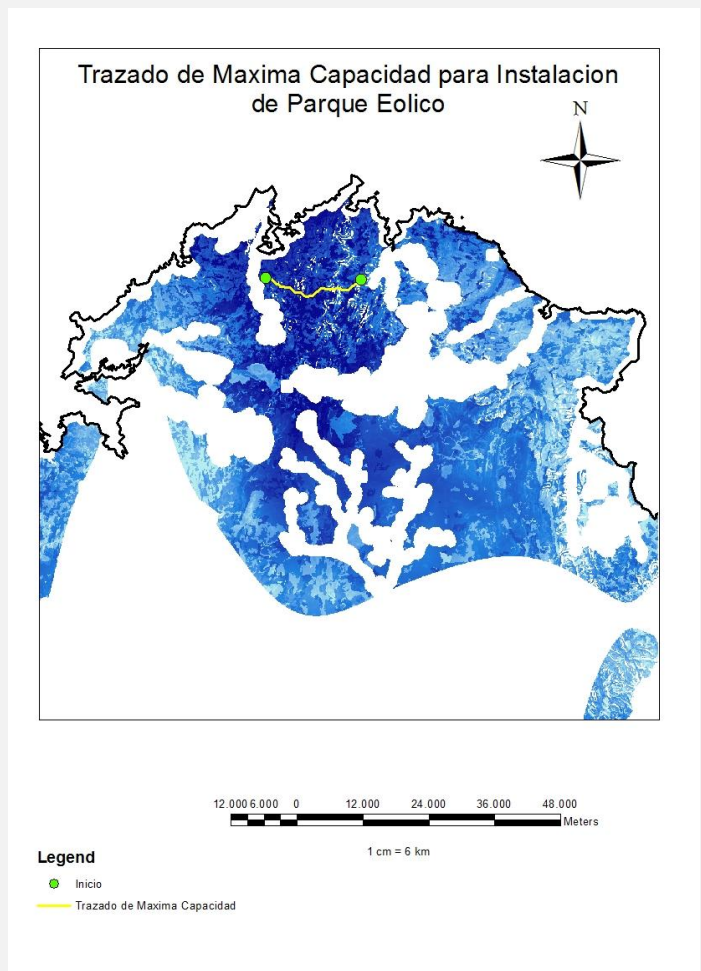


indicar el punto de inicio y final para el trazado de mayor capacidad. Otro parámetro a tener en cuenta es que las funciones con las que vamos a trabajar en ArcMap para



realizar este trazado, realizan operaciones con capas de fricción, es decir con rasters de los cuales toman los valores mínimos. Nosotros nos interesan justo lo contrario que es tomar el camino máximo, ya que nuestro raster está en función de la capacidad de acogida para parque Eólico. Para solucionar este problema se toma el valor máximo del raster de acogida de parque Eólico y se le resta al mismo raster, de esta manera tenemos un raster opuesto, ya que donde ahora tenemos el valor máximo antes teníamos el mínimo y viceversa, este será nuestro raster de fricción. Ahora seleccionamos el punto de inicio del trazado y aplicamos la herramienta **Cost Back Link**. Esta herramienta,

que me pide la capa de fricción, saca una capa en la que se me indica cual es el camino mínimo desde cualquier punto del raster al punto de origen seleccionado, siguiendo unas orientaciones que nos indica la leyenda de la capa (Ver Figura Cost Back Link). Para finalizar, hemos seleccionado el punto de destino y hemos utilizado la herramienta **Cost Path**. En ella tenemos que introducir, además de la capa de fricción, la capa realizada con la herramienta **Cost Back Link**. La capa de salida es el trazado de máxima capacidad para la instalación de Parque Eólico.



## ii) Biodiesel. Cultivos para la producción de biocombustibles.

En esta parte del proyecto hemos intentado determinar qué zonas son las que cumplen las mejores condiciones para el cultivo de plantas para la producción de biocombustibles como el biodiesel o el bioetanol.

Biodiesel: Se trata de un combustible que se obtiene por la transesterificación de triglicéridos. El producto obtenido es muy similar al gasóleo obtenido del petróleo, puede usarse en motores de ciclo diesel, aunque algunos motores requieren modificaciones.

El proceso de transesterificación consiste en combinar el aceite (normalmente aceite vegetal) con un alcohol ligero, normalmente metanol, y deja como residuo glicerina que puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras.

La fuente de aceite vegetal suele ser aceite de **colza**, pues es la planta con mayor rendimiento de aceite por hectárea. Otras fuentes pueden ser el Girasol y la Soja. En este apartado vamos a evaluar la plantación de la colza.

Con los aceites vegetales se contribuye de manera significativa al suministro energético sostenible, lo que permite reducir la dependencia del petróleo, así como fomentar el desarrollo socioeconómico del área rural y la conservación del medio ambiente.

### **Colza (*Brassica napus*).**



Características: crucífera de raíz pivotante y profundizante. Cuando esta raíz principal encuentra obstáculos para profundizar, tiene facilidad para desarrollar raíces secundarias. El tallo tiene un tamaño de 1,5 m aproximadamente. Las flores son pequeñas, amarillas y se agrupan en racimos terminales. La colza en España se siembra en septiembre.

Temperaturas. Suelos Óptimos: Su cultivo, gracias a la gran diversidad de variedades, es posible hoy en día en la totalidad de la Península Ibérica. No soporta temperaturas inferiores a los 2 °C bajo cero desde la germinación hasta el estado de roseta (3 primeros meses); a partir de aquí puede aguantar hasta los 15 °C bajo cero, el frío le favorece pues

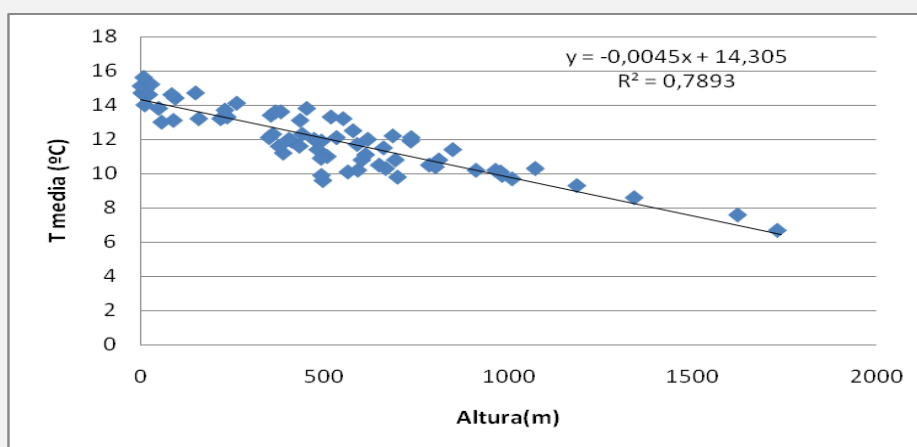


desarrolla más la raíz. La colza se puede desarrollar a partir de los 400 l/m<sup>2</sup> de lluvia, pero sufre con los encharcamientos. Puede cultivarse en cualquier tipo de suelo, soportando incluso una cierta acidez.

Rendimiento: Aproximadamente 2 toneladas por hectárea.

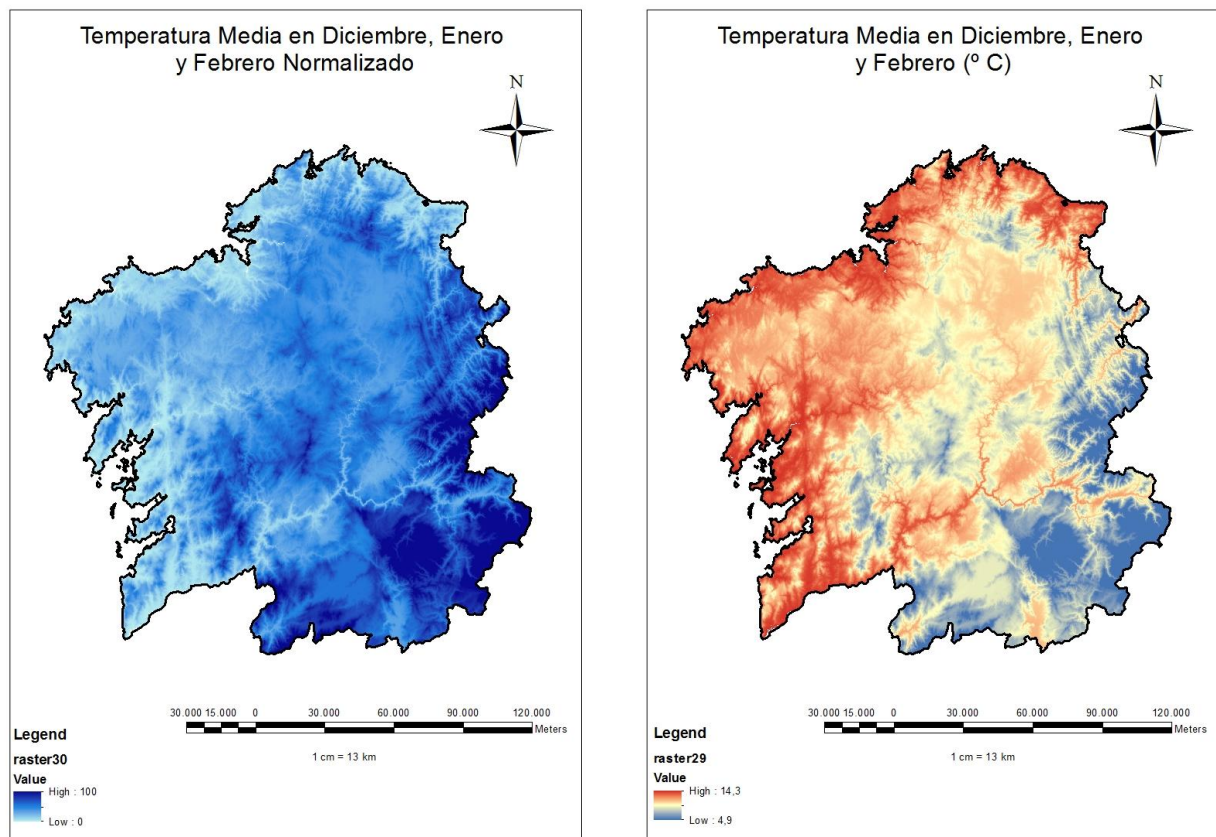
a) Una vez conocidas las características de la planta, pasamos a describir primeramente los **Factores** utilizados para obtener las mejores zonas para el cultivo. Estos se presentan a continuación correlacionados positivamente con la capacidad de acoger el cultivo.

El primer factor fue medir la temperatura media en los meses Diciembre, Enero y Febrero, ya que como hemos visto en las características de la planta se requiere que pasado el periodo de roseta, los meses sean lo más fríos posibles para el correcto desarrollo de la raíz. Con los datos de las estaciones meteorológicas hemos hecho una media de la temperatura de esos tres meses, y a continuación hemos realizado un ajuste del tipo  $y=a+bx$ , para saber si existe una relación lineal con la altitud. El ajuste obtenido ha sido el siguiente:

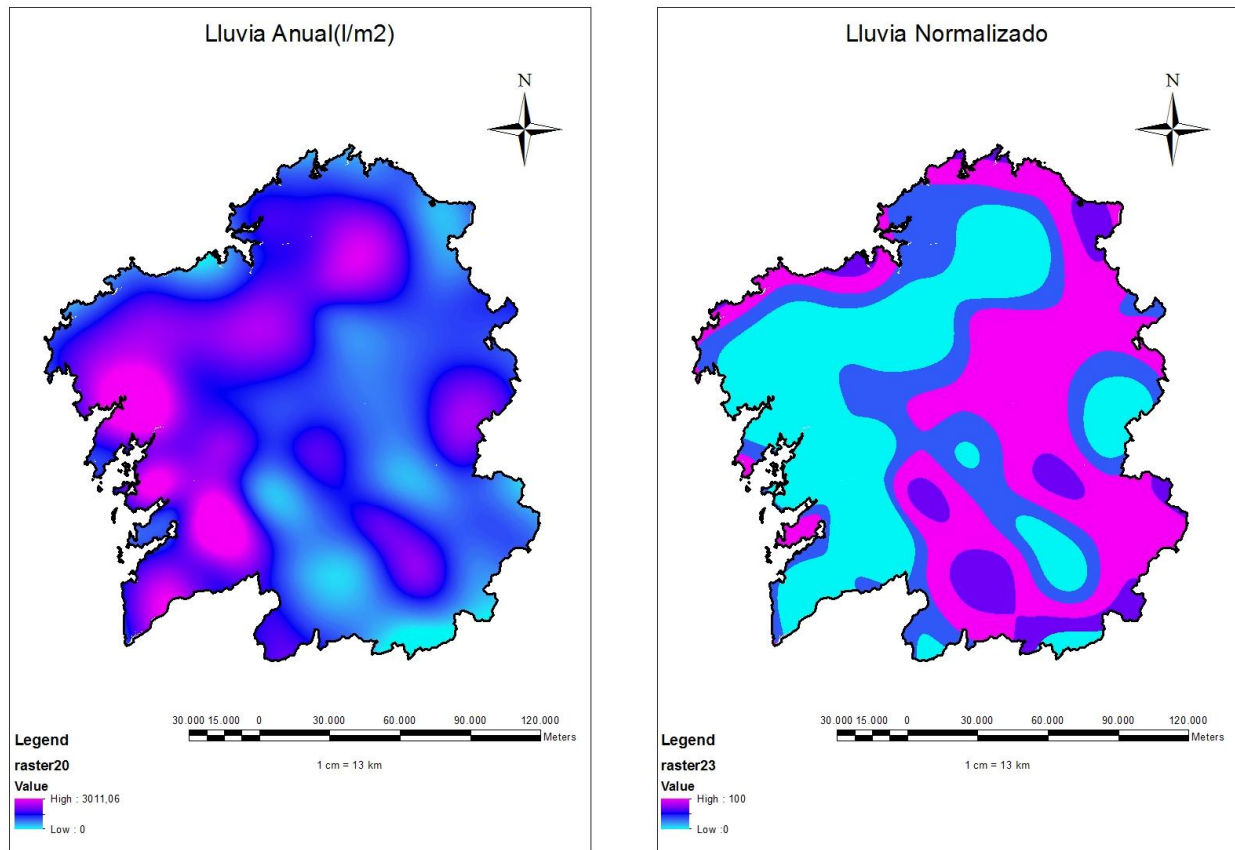


Aquí, se ve claramente que a superficies mas altas las temperaturas descienden, de modo que utilizamos la ecuacion de la recta  $y=-0,0045x + 14,305$  para calcular el raster de temperaturas. Para esto simplemente se implementa la ecuacion con **Raster Calculator** y en el valor de la variable x introducimos el Raster de altitud. Esta capa se ha normalizado correspondiendo el valor máximo a las zonas mas frías, ya que son las que más favorecen el crecimiento de la planta en la temporada de invierno. A continuación, se muestra el Raster normalizado, en donde el valor

máximo pertenece a las zonas más frías. Además, se muestra el Raster de Temperaturas.

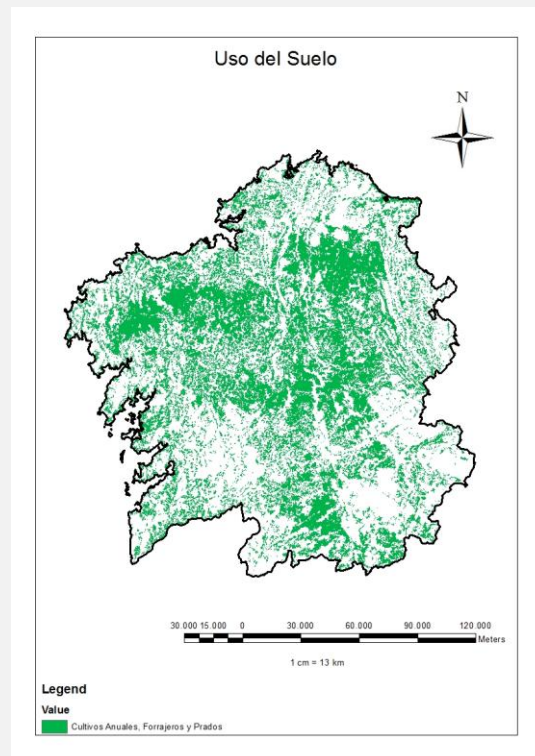


Siguiendo con los factores, otro importante es la lluvia. Esta planta necesita un mínimo de unos 400 l/m<sup>2</sup> anuales, teniendo a su vez en cuenta que sufre en las zonas con probabilidad de encharcamiento. Por ello, imponemos un límite máximo de 1500 l/m<sup>2</sup> anuales. Así, se han realizado tres categorías que se han puntuado en función de la cantidad óptima de agua solicitada por la planta. Le hemos asignado el valor 4 a las zonas con 800-1200 l/m<sup>2</sup> por ser las zonas más adecuadas, valor 3 ha sido para las zonas con 400-800 l/m<sup>2</sup> porque a partir de esa cantidad a la planta le llega para desarrollarse, el valor 2 se corresponde a las zonas con 1200-1500 l/m<sup>2</sup> por ser ya una cantidad excesiva y próxima al encharcamiento, al resto de las zonas se le han asignado el valor 1. Una vez clasificado lo hemos normalizado. Al igual que antes hemos realizado la grafica de dependencia frente a la altitud pero no se ha encontrado una correlación por lo que dicho Raster se ha realizado con la herramienta **Interpolate Spline**. Se muestra el Raster de lluvia anual y el Reclasificado.

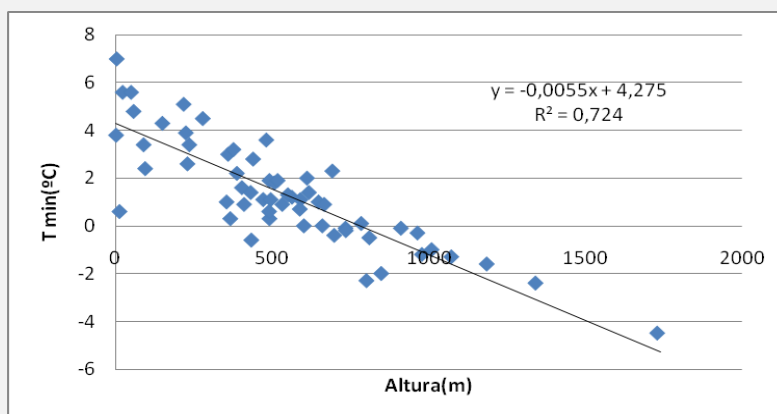


c) Al no haber encontrado más factores determinantes para el cultivo de la colza, hemos pasado a describir las **Restricciones**.

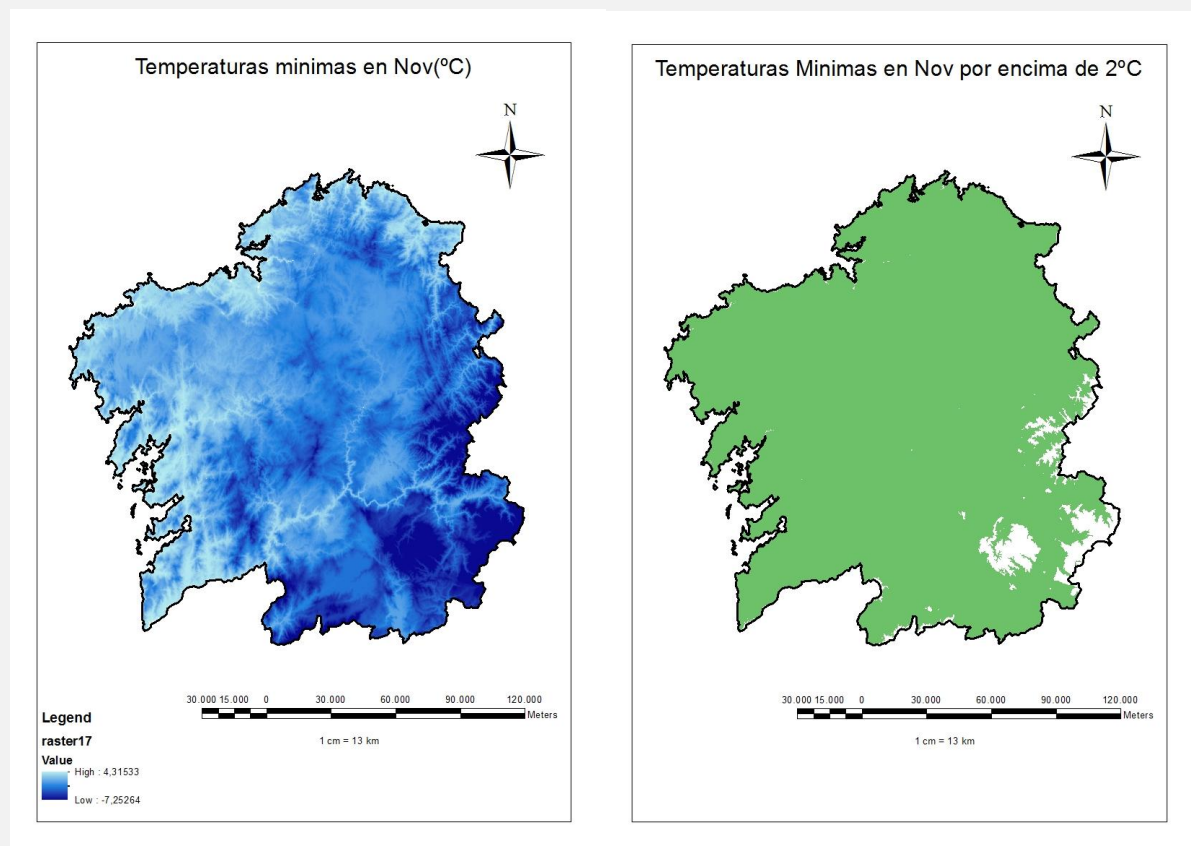
La primera de ellas ha sido utilizar zonas con un uso del suelo adecuado. En consecuencia, se han seleccionado zonas con los siguientes Códigos Corine: 2423, 2433, 24211 y 24213, que corresponden a zonas cultivos anuales, cultivos forrajeros y zonas de prados con cultivos anuales. Esta capa la hemos realizado convirtiendo la capa vectorial de usos del suelo a Raster, y a continuación hemos hecho una Reclasificación de las zonas adecuadas dándole a estas el valor 1.



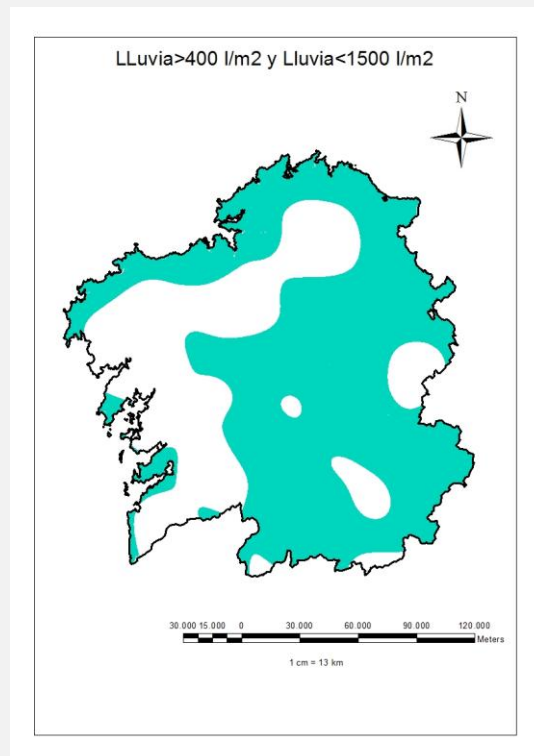
Como ya hemos indicado anteriormente en las características de la Colza, esta no soporta temperaturas inferiores a los 2°C bajo cero desde la germinación hasta el estado de roseta (aproximadamente 3 meses). Como la colza se planta en Septiembre hemos examinado los valores mínimos de las temperaturas en esos meses. Durante los meses de Septiembre y Octubre ese valor no se alcanza en ninguna zona, pero en Noviembre si, por lo que hemos realizado un raster con las temperaturas mínimas, y a continuación realizamos una restricción, reclasificando las zonas que están por encima de -2°C dándole el valor 1. Al igual que en el factor explicando anteriormente, hemos realizado un ajuste lineal de la Temperatura con la altitud mediante un ajuste a una recta del tipo  $y=a+bx$ , en el se ve claramente una dependencia lineal entre la temperatura mínima y la altitud.



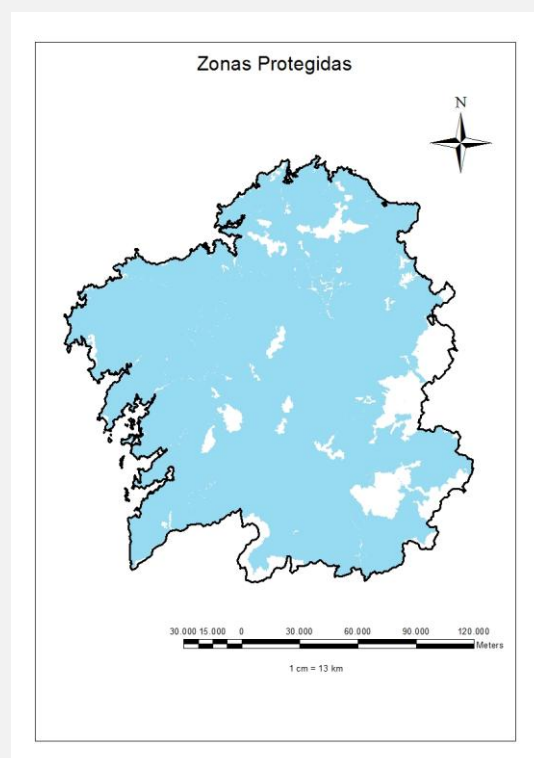
Con la ecuación de la recta realizamos el Raster de temperaturas mínimas. Se muestra el Raster de Temperaturas mínimas y la Restricción de Temperaturas menores que  $-2^{\circ}\text{C}$ .



Como siguiente restricción, cabe mencionar la relacionada con las lluvias. Hemos hecho una restricción para aquellas zonas de lluvia menor que  $400 \text{ l/m}^2$  y zonas con lluvia mayor que  $1500 \text{ l/m}^2$ .



Y para finalizar, hemos introducido la restricción de Zonas Protegidas. Para ello, hemos realizado una capa Raster con el valor 1 en las zonas que no están protegidas.



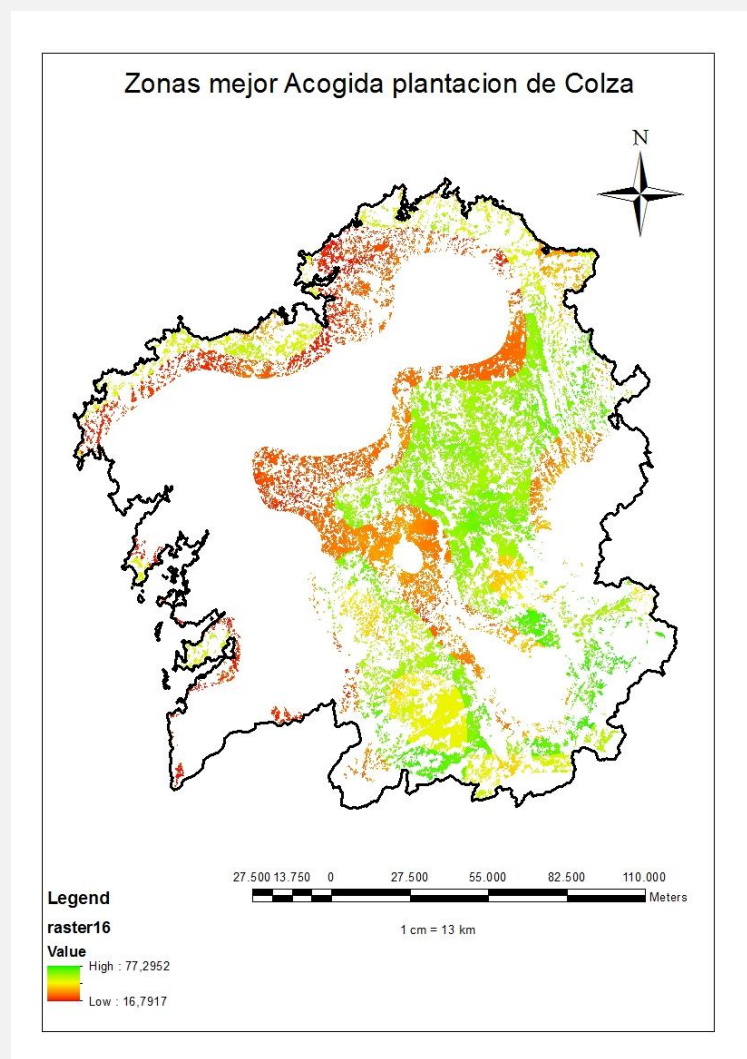


d) Con todos los factores y restricciones descritos pasamos a realizar el Método Multicriterio Compensativo, pero antes de nada debemos **asignar los pesos a cada uno de los factores**. En este caso solo disponemos de dos factores, que son la lluvia anual y la temperatura media en Diciembre, Enero y Febrero. Hemos considerado que los dos factores tienen la misma importancia para el correcto desarrollo de la colza por lo que le hemos asignado un peso de 0,5 a cada uno.

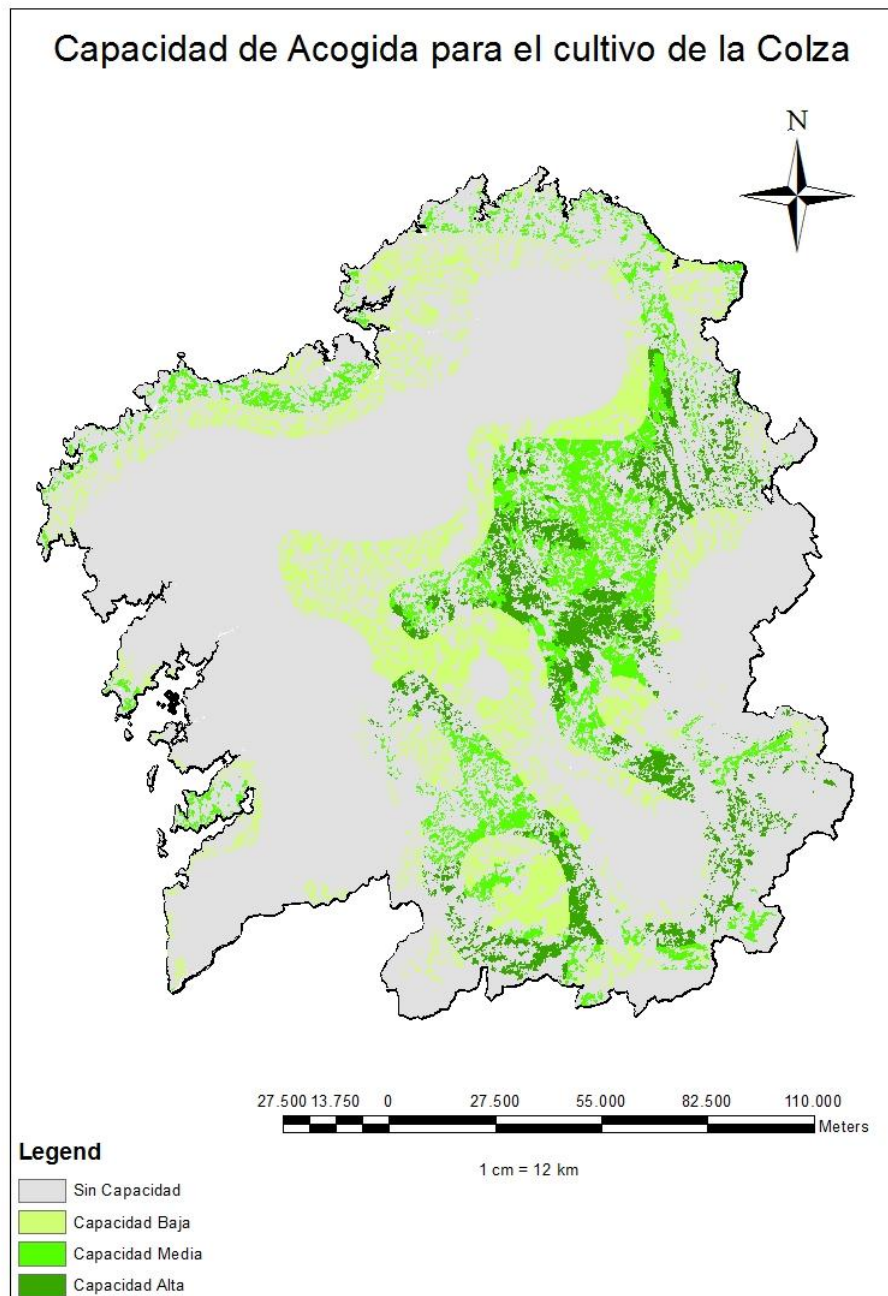
e) Hemos utilizado de nuevo el **Método Multicriterio Compensatorio**, en el cual se multiplica cada factor ya normalizado por su correspondiente peso, y posteriormente se suman los resultados. Estos serán multiplicados por el producto de las restricciones, definiendo las aéreas excluidas del análisis.

$$a = \sum x_i w_i * \prod r_j$$

El mapa final que muestra las mejores zonas para la plantación de la colza es el siguiente:



f) Este último raster se ha reclasificado en función de sus valores máximos y mínimos para obtener una **clasificación por capacidad de acogida** del cultivo.



Como podemos observar, las partes mejor capacitadas para el cultivo de colza son sobre todo la parte Este de Galicia mayoritariamente zonas de Lugo y Ourense. El resto de las zonas queda mayormente discapacitada por lluvia.



### iii) Energía Solar.

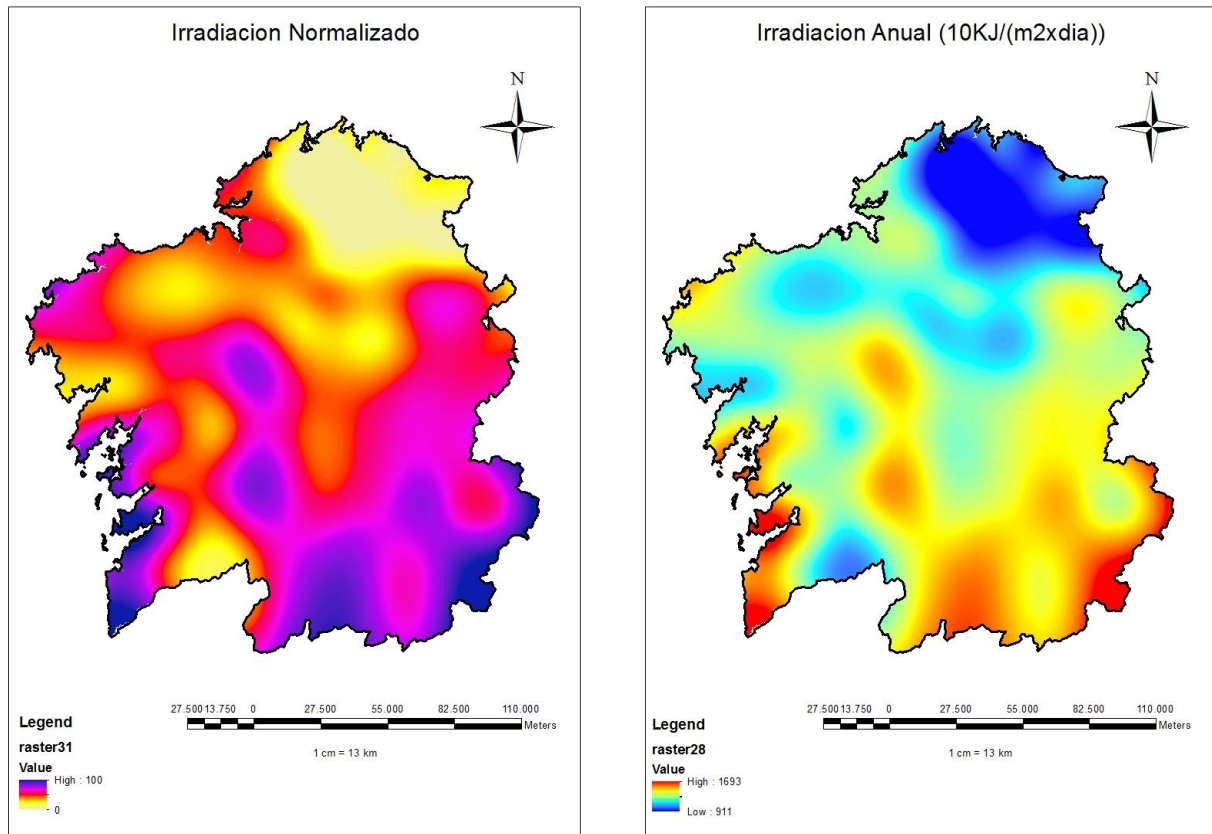


La energía solar constituye la principal fuente de vida en la tierra, induce el movimiento del viento, del agua y el crecimiento de las plantas, por ello la energía solar es el origen de la mayoría de las fuentes de energía renovables: eólica, hidroeléctrica, biomasa, además de la propia solar. La Energía solar se puede usar de muchas maneras:

pasivamente (mediante la adecuada ubicación, diseño y orientación de los edificios), térmica (transforma la energía procedente del sol en energía calorífica), fotovoltaica (convierte directamente la energía solar en eléctrica gracias al efecto fotovoltaico).

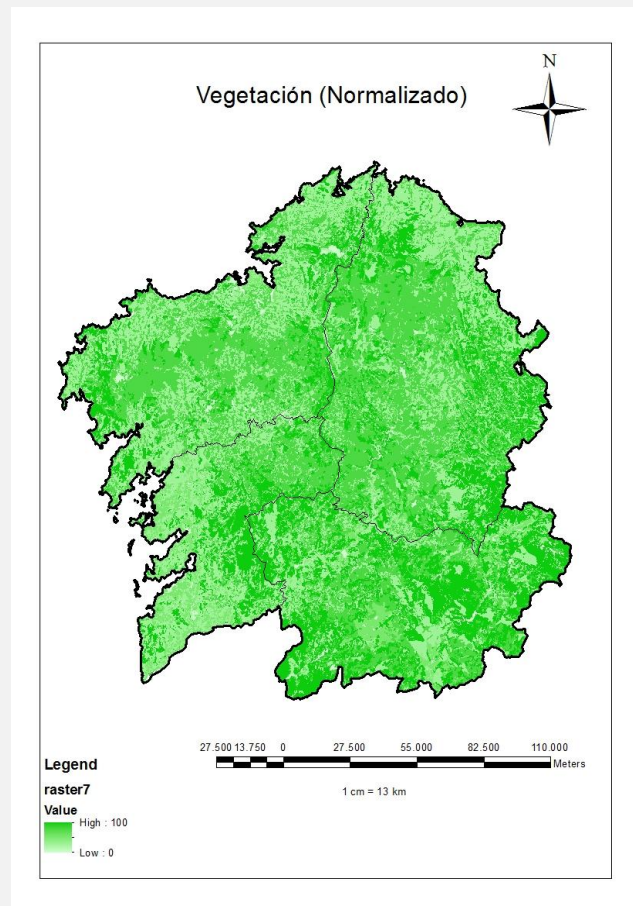
En este apartado del trabajo se va realizar un mapa de radiación solar, para conocer cuáles son las mejores zonas para colocar paneles de células fotovoltaicas, que son las que transforman directamente la energía solar en eléctrica

a) Mediante los datos obtenidos de cada una de las estaciones, hemos realizado una Interpolación para conocer el mapa de Irradiación Solar. Normalmente la Irradiación es dependiente de la altitud, ya que las zonas con mayor altitud no se ven afectadas por las nubes, lo cual conlleva a un mayor número de horas de sol y consecuentemente mayor Irradiación. Hemos buscado una relación haciendo un ajuste con los datos que disponíamos de Irradiación frente a la altitud, pero no hemos obtenido una relación clara, debido posiblemente a que el relieve de la comunidad no es muy pronunciado, provocando esto que no se pueda observar este fenómeno. Este ha sido el motivo de realizar la Interpolación. A continuación, se muestra el primer **FACTOR** que es la irradiación. Al igual que en anteriores casos se muestra correlacionados con la capacidad para la instalación de células de energía solar fotovoltaica. Se muestra el Raster de la Irradiación Normalizada y sin Normalizar para que se puedan observar los valores Energía por unidad de superficie y tiempo percibidos.

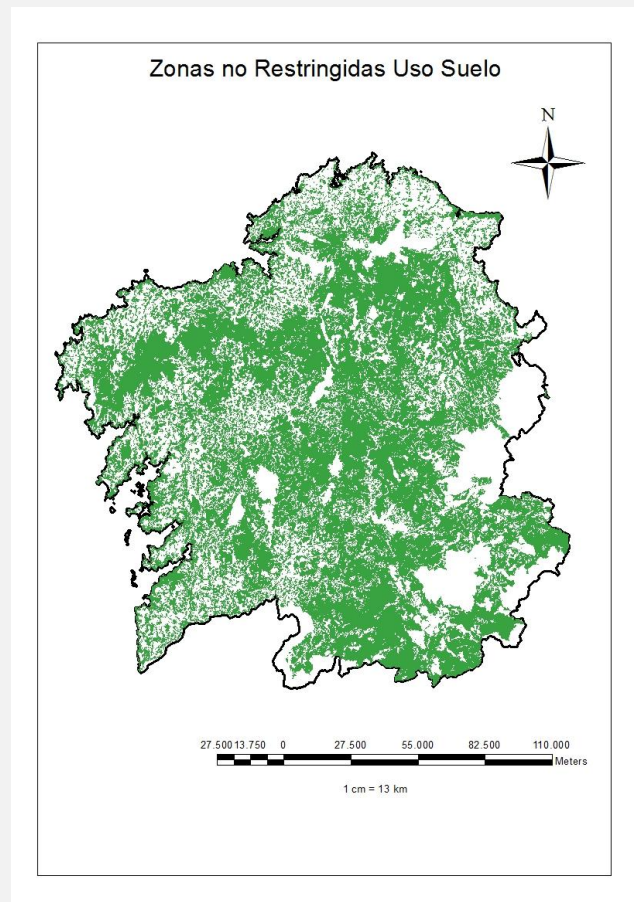


Además hemos introducido como factor la capa de calidad de vegetación realizada en el apartado de Energía Eólica, debido a que las zonas donde se instalen los paneles solares anularan la vegetación ya que ocupan bastante espacio en superficie. Debido a esta indicación el factor de calidad de vegetación tendrá algo más de peso que en el apartado de Energía Eólica.

Aunque la capa de calidad de vegetación sea la misma que la utilizada en el apartado de Energía Eólica, vamos a repetir las indicaciones de cómo se realiza. Primero pasamos la capa de usos del suelo de vectorial a Raster mediante la herramienta **Polygon to Raster**, a continuación la reclasificábamos en 4 clases, asignándole el valor 4 a las zonas de matorral, y el valor mínimo a los bosques de Eucalipto, Pinos y Caducifolias. Entremedias, hemos dejado en orden descendente, Zonas Ganaderas, Zonas Agrícolas.



c) Las limitaciones (**RESTRICCIONES**) que hemos considerado para la implantación de paneles solares han sido la pendiente y los usos del suelo. En estos últimos, se han considerado restrictivos el suelo forestal, las masas de agua y los Espacios Naturales Protegidos. No hemos establecido una restricción para zonas urbanas ya que actualmente se pueden instalar paneles en tejados de edificios para suministrar energía a las personas que viven en el. A continuación se muestran las zonas donde no existen restricciones para la instalación de parque solar. Este mapa se ha realizado mediante la herramienta **Reclassify** dándole el valor 1 a las zonas no excluidas y NoData al resto.

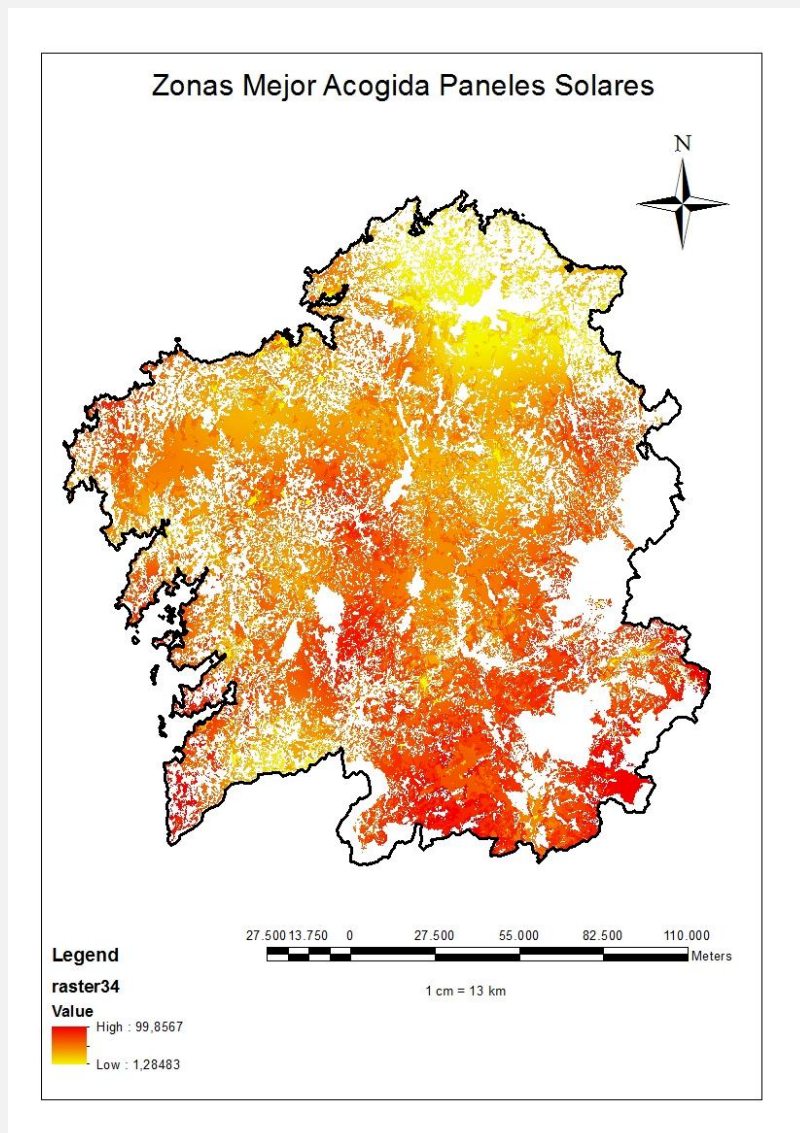


d) Con los factores y restricciones definidos pasamos a realizar el Método Multicriterio Compensativo, no sin antes **asignar los pesos a cada uno de los factores**. En este caso solo disponemos de dos factores que son la Irradiancia y la calidad de la vegetación. Se le ha asignado un peso de 0,65 a la Irradiancia y un peso de 0,35 a la calidad de la Vegetación.

e) Con el **Método Multicriterio Compensatorio**, en el cual se multiplica cada factor ya normalizado por su correspondiente peso, y posteriormente se suman los resultados. Estos serán multiplicados por el producto de las restricciones, definiendo las aéreas excluidas del análisis.

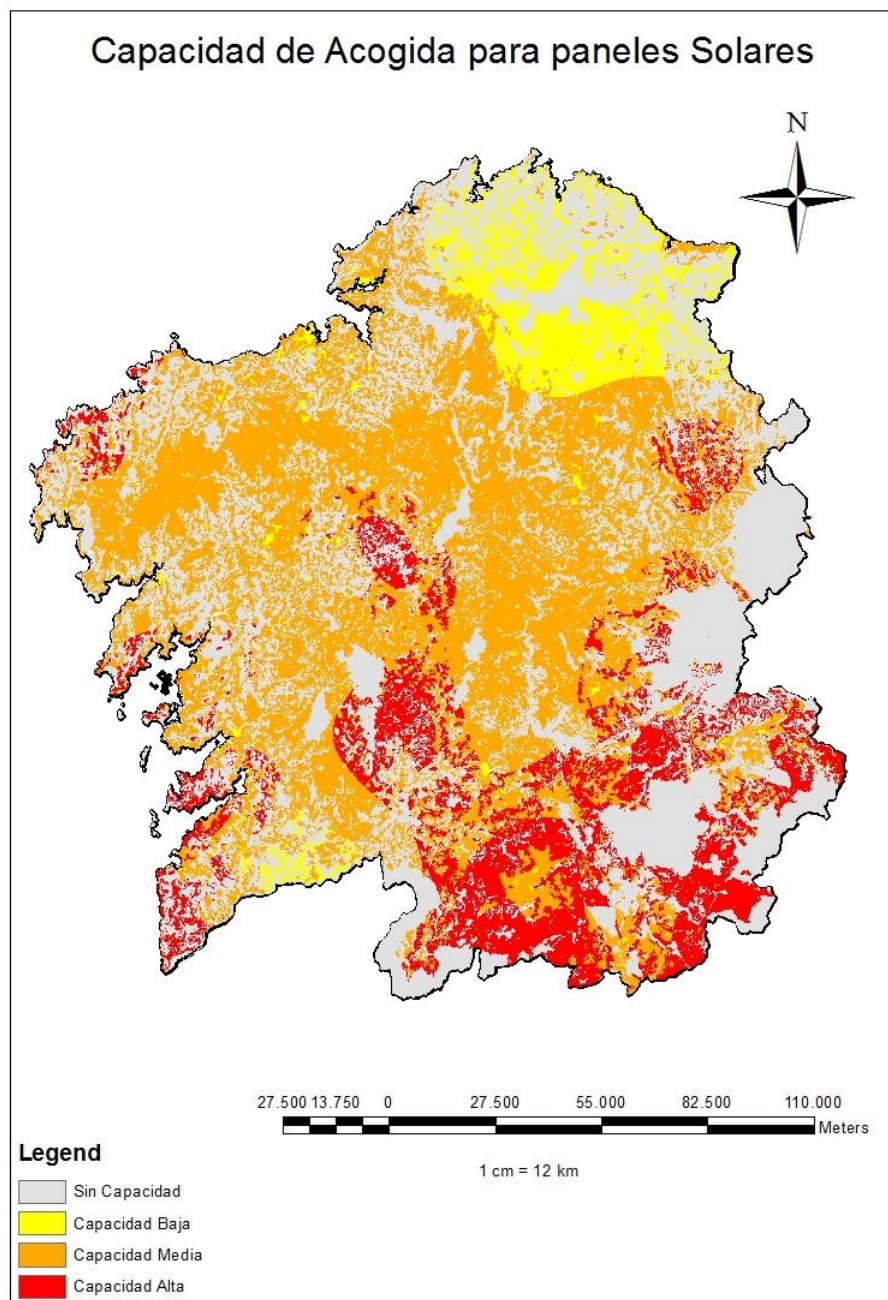
$$a = \sum x_i w_i * \prod r_j$$

A continuación, se plasma el mapa final para la obtención de Energía Solar. Es el siguiente:



f) Al igual que en los apartados anteriores se hemos hecho una **reclasificación por categorías** en función de los valores máximos y mínimos del raster.





Como podemos observar en el mapa, las mejores zonas para la instalación de paneles solares son sobre todo la provincia de Orense y las Rías Bajas y las peores zonas son mayoritariamente el Norte de la Comunidad.

#### 4. Tipo de Energía en función de la ubicación

Una vez obtenidos los 3 mapas designando cada una de las zonas con mayor capacidad para cada tipo de Energía, se ha tratado de realizar un mapa que indique que tipo de Energía es mejor en cada ubicación en función de la cantidad de Energía que se puede obtener de cada una de ellas.

Para ello me he basado en información obtenida del INEGA, la cual indica que en Galicia de todas las Energías Renovables la que tiene un mayor potencial es la Energía Eólica, debido a que es un emplazamiento donde mayoritariamente predominan las borrascas y consecuentemente los días ventosos y lluviosos. Además, hay que tener en cuenta la gran inversión que se está haciendo en esta comunidad con el Plan Eólico de Galicia, el cual ha permitido a los promotores presentar un plan de desarrollo industrial asociado a la implantación de parques eólicos.

En estos momentos Galicia es la Comunidad con mayor potencia Eólica instalada y con el mayor potencial de instalación a medio plazo.

Por otra parte, por su baja irradiación solar media, no es la región más apropiada para emprender proyectos basados en la energía solar. Los niveles de radiación en Galicia no son muy altos, entre 3,4 y 4,4 KWh/m<sup>2</sup> de promedio diario, frente a los más de 5 KWh/m<sup>2</sup> del Sur de España, no obstante ya se han ido realizando una serie de experiencias piloto y ya se cuenta con pequeñas instalaciones a lo largo de la geografía gallega.

En cuanto a los cultivos de Colza en Galicia solo existe una extensión de 8 hectáreas de cultivo experimental y parece que resulta difícil que sean rentables económicamente, ya que requieren grandes extensiones de terreno cultivable, algo de lo que en Galicia resulta difícil de encontrar. Aun así existen varios ensayos actualmente para evaluar la potencialidad de diferentes variedades de colza, soja y girasol en la producción de biocombustible.

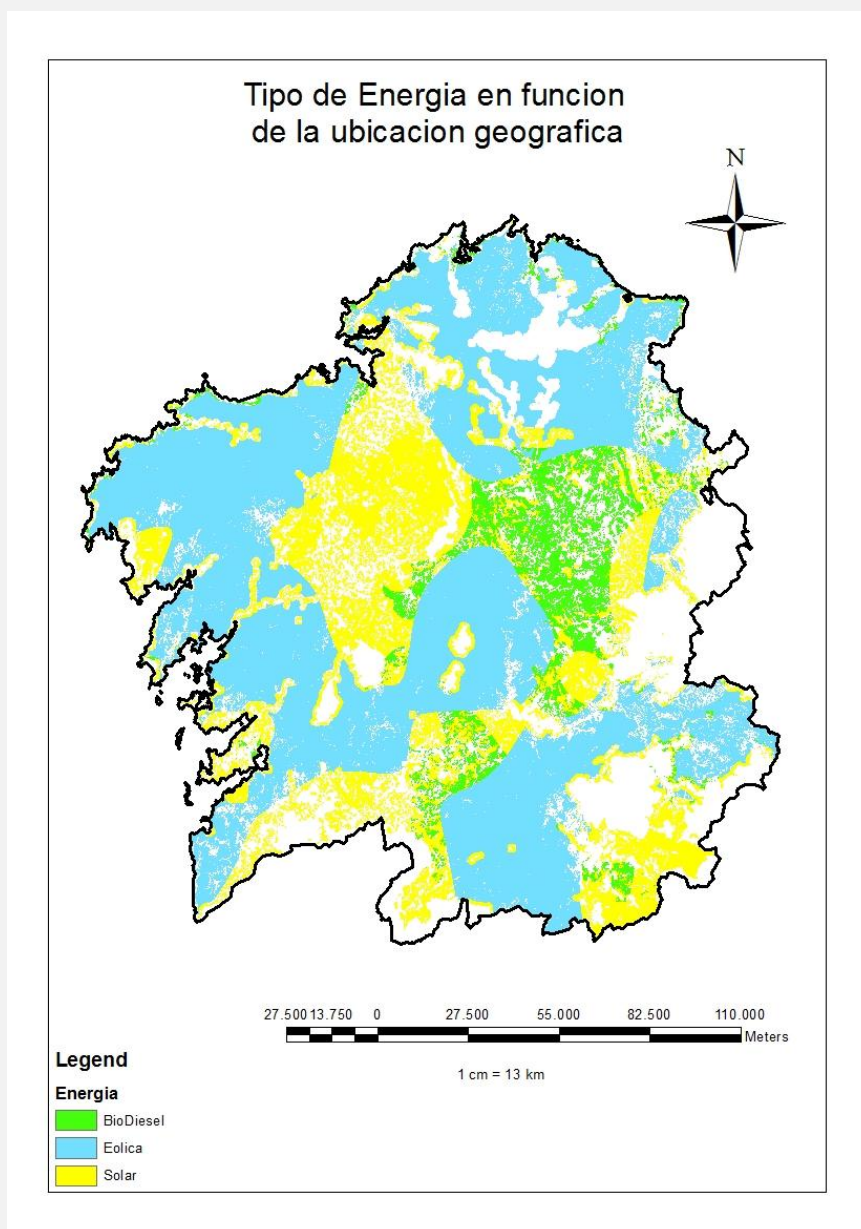
Una vez mostrados estos datos, queda claro que la Energía mas importante en Galicia es la Eólica, muy por encima de la Solar. Además, la generación de Biodiesel aun este en periodos de prueba.

Para acabar el proyecto hemos realizado el último mapa, para ello se han clasificado las zonas con Acogida Media y Alta de las diferentes Energías en función de la

Importancia que tiene dicha Energía en Galicia. De tal modo que han quedado de la siguiente manera:

6-Capacidad de Acogida Alta Parque Eólico, 5- Capacidad de Acogida Media de Parque Eólico, 4-Capacidad de Acogida Alta Energía Solar, 3-Capacidad de Acogida Alta del cultivo de Colza, 2- Capacidad de Acogida Media del cultivo de colza, 1- Capacidad de Acogida Media Energía Solar. Obtenemos entonces tres capas raster (uno por cada tipo de Energía) reclasificados con los valores mostrados arriba. Con estos Rasteres y la Herramienta **Cell Statistic**, introducimos los rasteres e indicamos que nos saque el valor Máximo de los tres rasteres en cada celda. El resultado obtenido ha sido el siguiente.

i) El **Mapa Final que muestra el tipo de Energía Recomendada en función de la ubicación** es el siguiente:





## 5. Conclusiones

Como se puede observar en el mapa final, la mayoría de zonas de Costa tiene capacidades para la instalación de un parque Eólico, además de algunas zonas de interior sobre todo en la provincia de Orense. La Energía Solar es la que mejor capacidad tiene en el interior de la Provincia de Coruña, debido a que la Eólica no se podría instalar por falta de viento y la Colza no se podría plantar por exceso de Agua. También es destacable la zona que aparece en el interior de Lugo donde se dan las condiciones adecuadas para el cultivo de Colza. Para terminar con la descripción del mapa destacar que en la provincia de Orense se dan las condiciones necesarias para la implantación de los tres tipos de Energía.

Aunque existen múltiples trabajos sobre posibles ubicaciones de parques de Energía Eólica, con este se ha intentado mostrar cual sería la mejor para instalarlos en Galicia con los últimos datos meteorológicos publicados. Este tipo de Energía es muy común en la comunidad por las condiciones meteorológicas de las que dispone, aun así se han evaluado también la Solar y el Biodiesel para valorar las zonas en las que la instalación de la Energía Eólica no sería rentable. Hemos obtenido que en zonas mayoritariamente de interior de la provincia de Coruña sería una buena alternativa la Solar, pero siempre de apoyo ya que los niveles de Irradiación en Galicia no son muy altos. Para acabar indicar que la aportación tal vez más importante de este trabajo ha sido evaluar y constatar que la plantación de cultivos para la generación de Biodiesel podría ser posible en el interior de Lugo. Este tipo de cultivo todavía está en experimentación en la Comunidad, pero aquí se ha demostrado que existen zonas que cumplen las condiciones para su desarrollo.

En definitiva, con lo aquí expuesto se ha querido mostrar de manera sencilla, cuales son las zonas potenciales de obtención de Energías Renovables en Galicia, así como remarcar que ciertos territorios poseen los recursos suficientes, para poner en funcionamiento diferentes tipos Energías Renovables en la mayor parte de su extensión, ahorrando así en combustibles fósiles y emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmosfera.

Como limitaciones del trabajo me gustaría indicar:

a) Un análisis de este tipo necesitaría un procesado mucho más intenso de los datos Meteorológicos (ya que en este trabajo solo se han trabajado con los del año 2009), pero realizándolo así se pueden obtener resultados aproximados.

Normalmente los datos de la velocidad del viento y de Irradiación se calculan mediante complejos modelos matemáticos, los cuales se han aproximado aquí haciendo interpolaciones.

b) Para realizar la última parte del trabajo, se han intentado conseguir datos de la Energía Media que suministra cada tipo de Energía en función de metros cuadrados, para saber con mayor exactitud la cantidad de Energía que se podría obtener en cada celda del raster con cada tipo de Energía. Estos datos son muy difíciles de cuantificar porque dependen de un gran número de variables (por ejemplo para una zona de  $90 \times 90 \text{ m}^2$ , solo se podría colocar un aerogenerador de energía eólica, ya que estos se colocan en disposición lineal y a una distancia de 200 metros, la energía obtenida por un aerogenerador depende de: la velocidad del viento al cubo, el tiempo que el viento atraviesa el aerogenerador, el radio de las aspas del generador, la densidad del aire (la cual depende a su vez de la altitud),..., es por esto que se ha realizado una clasificación asignando un valor en función de la información publicada por el INEGA .

c) El análisis Multicriterio solo se ha realizado mediante la Suma Lineal Ponderada, también se podría desarrollar con: Distancia al punto Ideal (Método Multicriterio Flexivo), Máximos (Método Multicriterio No Compensatorio) o la Media Ponderada Ordenada (Método Multicriterio Flexible). Además de poder desarrollar un análisis de Sensibilidad.

La Resolución de dichas limitaciones abre la puerta a posteriores investigaciones para la mejora del análisis realizado aquí.

## 6. Bibliografía

Se ha dispuesto la bibliografía en función de la temática desarrollada:

### Energía Eólica:

José Molina Ruiz y M<sup>a</sup> Luz Tudela Serrano: “Elección de Criterios y Valoración de Impactos Ambientales para la Implantación de Energía Eólica”. Papeles de Geografía 2008,47-48; pp. 171-183

Serwan M. J. Baban and Tim Parry. Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. Renewable Energy, Volume 24, Issue 1, September 2001, Pages 59-71 Renewable Energy, Volume 13, Issue 3, March 1998, Pages 333-344

D. Voivontas, D. Assimacopoulos, A. Mourelatos and J. Corominas. Evaluation of Renewable Energy potential using a GIS decision support system. Renewable Energy, Volume 13, Issue 3, March 1998, Pages 333-344

HS Hansen. GIS-based Multi-Criteria Analysis of Wind Farm Development. - Proceedings of the 10th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, ScanGIS 2005, June 2005, Pages 75-87

### Energía Solar:

Silvina Belmonte, Virgilio Núñez, Judith Franco y José Viramonte: “Mapas de radiación solar para el valle de Lerma”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 10, 2006. ISSN 0329-5184

### Varias Energías

Cheng-Dar Yue and Shi-Sian Wang: GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan. Energy Policy, Volume 34, Issue 6, April 2006, Pages 730-742

Javier Domínguez Bravo: “Los Sistemas de Información Geográfica y las Energías Renovables”. Disponible en:

<http://cvu.rediris.es/pub/bscw.cgi/d758627/Introducci%C3%B3n%20a%20los%20SIG%20aplicados%20al%20campo%20de%20las%20renovables.pdf>

Javier Domínguez Bravo: “Evaluación de Emplazamientos Potenciales para sistemas de producción descentralizada de electricidad con Energías renovables”. Disponible en: [http://age.ieg.csic.es/metodos/vitoria96/1996\\_020.pdf](http://age.ieg.csic.es/metodos/vitoria96/1996_020.pdf)

INEGA: “Las Energías Renovables en Galicia”. Publicado en [http://www.inega.es/descargas/publicacions/78-d-Energias\\_Renovables\\_en\\_Galicia.pdf](http://www.inega.es/descargas/publicacions/78-d-Energias_Renovables_en_Galicia.pdf)

### Biodiesel

Información sobre las condiciones para el cultivo de la Colza:

<http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/colza.htm>

<http://www.diariomardeajo.com.ar/cultivodecolza.htm>

<http://www.cime.es/ca/ccea/07.pdf>